ÜBER

NORDAMERIKANISCHEN BRÜCKENBAU

UND

BERECHNUNG DES TRAGUNGSVERMÖGENS

DER

HOWE'SCHEN BRÜCKEN.

VON

CARL GHEGA,

DOCTOR DER MATHEMATIK, K. K. RATHE UND INSPECTOR DER ÖSTERR. STAATSEISENBAHNEN,
MITGLIEDE MEHRERER GELEHRTEN GESELLSCHAFTEN
etc. etc. etc.

MIT

TABELLEN ÜBER DIE ABSOLUTE, RELATIVE UND RÜCKWIRKENDE FESTIGKEIT
EINIGER BAUMATERIALIEN

UND

ZWEI ZEICHNUNGSTAFELN.

4♀ A. hydr. 46 ♀

Gnega

<36630764370013

<36630764370013

Bayer. Staatsbibliothek

ÜBER DEN

BRUCKENBAU

DER

VEREINIGTEN STAATEN

VON

NORDAMERIKA.

ÜBER

NORDAMERIKANISCHEN BRÜCKENBAU

UND

BERECHNUNG DES TRAGUNGSVERMÖGENS

DER

HOWE'SCHEN BRÜCKEN.

VON

CARL GHEGA,

DOCTOR DER MATHEMATIK, K. K. RATHE UND INSPECTOR DER ÖSTERR. STAATSEISENBAHNEN,
MITGLIEDE MEHRERER GELEHRTEN GESELLSCHAFTEN
etc. etc. etc.

MIT

TABELLEN ÜBER DIE ABSOLUTE, RELATIVE UND RÜCKWIRKENDE FESTIGKEIT
EINIGER BAUMATERIALIEN

UND

ZWEI ZEICHNUNGSTAFELN.

WIEN.

KAULFUSS WITWE, PRANDEL & COMPAGNIE.

1845.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Gedruckt bei A. Strauss's sel. Witwe & Sommer.

Vorwort.

Im Gebiete der Ingenieurs-Wissenschaft besitzt Europa in England, Deutschland, Frankreich, Italien u. s. w. an Bauwerken wahrhaftig die lehrreichste Schule; eine Schule, welche durch das regere Wirken der letzten dreissig Jahre, vornehmlich bei Vermehrung der inneren Communicationen durch Eisenbahnen, Strassen und Canäle zu einer höhern Stufe der Entwicklung emporstieg. Daher steht uns schon in dem, was die Baukunst in Europa allein gebar, eine reichhaltige Quelle von Wissen zu Gebote, aus der wir Manches für unsere neuen Anwendungen als dienstbaren Leitpfad benützen können.

Es liegt jedoch in unserm Berufe den bei uns gemachten Erfahrungen auch anderweitige anzureihen, und in dieser Absicht wage ich es mittelst vorliegender Schrift ein Überatlantisches Constructions-System für Brücken näher bekannt zu machen, welches, hervorgerufen durch die Nothwendigkeit grosse Flüsse mit grossen Brückenöffnungen schleunig und verhältnissmässig wohlfeil zu überbauen, vielen Erfahrungen und Verbesserungen seinen jetzigen Standpunct verdankt, auf nordamerikanischem Boden mancher nützlichen Ausführung sich erfreut, und auch bei Uns sich in manchen Fällen zu einer angemessenen Anwendung eignen dürfte.

Ich rathe zwar nicht für Brücken überhaupt, die Holz- den übrigen Constructionen vorzuziehen, vielmehr bin ich der Ansicht, dass, so oft die ökonomischen Rücksichten in Bezug auf die Anlagskosten und auf die zur Ausführung erforderliche Zeit, dann die örtlichen Verhältnisse es zulassen, unter allen der Bau massiv gewölbter Brücken sich am zweckmässigsten darstellt.

Dort aber, wo dies nicht der Fall ist, und aus ähnlichen Rücksichten die Anwendung hölzerner Brücken eintreten muss, glaube ich, dass in den meisten Fällen die Construction mit grossen lichten Weiten und massivem Unterbau zu wählen, und hierbei die nordamerikanische Bauart nach dem Gitterwerkssysteme, vorzugsweise die Hänggitterbrücken — *truss suspension Bridges* — des William Howe zu empfehlen sein dürfte.

In der vorliegenden Schrift liefere ich eine kurze Beschreibung hauptsächlich der Howe'schen Brücken *) und die Berechnung des Tragungsvermögens derselben. Es ist eine geringe Arbeit, die, der Beurtheilung der Ingenieure unterzogen, zu vortheilhaften Anwendungen Anlass geben könnte.

Der Verfasser.

---

*) Die übrigen Constructionen von Gitterwerksbrücken sind in den trefflichen Werken von Poussin und Gerstner, letzteres von L. Klein herausgegeben. beschrieben.

ALLGEMEINE EINLEITUNG.

Brücken in Europa.

Einiges über die fisischen Landesverhältnisse Nordamerikas.

Jedes Land ist durch seine eigenthümlichen fisischen Verhältnisse eher auf Eine als auf eine andere Constructionsart von Brücken angewiesen. Dasselbe findet oft auch für verschiedene Gegenden eines und desselben Landes Statt. — Die Gattung der vorfindigen Baumaterialien, die Örtlichkeit der Baustelle, und die oft bedingte Grösse der Brückenöffnung nehmen darauf den Haupteinfluss.

Auf unserem Continente hat Italien eine ganze Architektur an steinernen Brücken alter und neuer, monumentaler und einfacher Construction. Wenn die Denkmähler der Kunst den zerstörenden Folgen des Krieges entgehen möchten, so hätte Italien unter der Reihe seiner Brücken das grossartigste Monument der Welt aufzuweisen. Dies wäre die Brücke über den Fluss Adda bei Trezzo, welche unter Barnabó Visconti Herzog von Mailand, aus einem einzigen Kreissegmente mit 251 Fuss *) Spannweite und 140 Fuss Höhe von Granit gebaut, im 14. Jahrhunderte von Carmagnola zerstört wurde. Nur wenige Überreste sind zurückgeblieben, um der Nachwelt den Umfang dieses bedauernswerthen Ereignisses darzuthun. Unter die uralten und grössten steinernen Brücken gehört jene über den Fluss Serchio bei Lucca aus einem Kreissegmente mit 120 Fuss Sehne und 68 Fuss Höhe, im zehnten Jahrhundert erbaut.

Die steinerne Brücke über den Kanal Rivoalto in der berühmten Stadt Venedig aus einem Kreissegmente mit $94^{3}/_{4}$ Fuss Sehne bei $21^{1}/_{8}$ Fuss Pfeil bestehend, gehört mit unter die Bau-Monumente des 16. Jahrhunderts. An grossen steinernen Bögen aus der neuesten Zeit fehlt es auch nicht. Hölzerne Brücken kom-

*) Wo nicht ein anderes Mass ausdrücklich angegeben wird, ist in dieser Schrift das englische Mass zu verstehen.

men in der Regel meistens in den Gebirgsgegenden, gewöhnlich nach dem Sprengwerkssysteme gebaut; eiserne Brücken hingegen selten vor. — An Bausteinen und Ziegelmaterial ist Italien reich; Bauholz liefern viele Gegenden meist im Gebirge; an Eisen erzeugt das Land verhältnissmässig nur wenig.

Eiserne und zwar Hängkettenbrücken besitzt dafür Deutschland viele: die Kettenbrücke über den Fluss Moldau zu Prag gehört unstreitig unter jene ersten Ranges; sie hat sechs Öffnungen, zwei grosse jede zu 415.11, vier kleine zu 93.38, 94.25, 94.25 und 118.25 Fuss lichte Weite, und die gesammte Länge der Brücke beträgt 1520 Fuss; sie zeichnet sich besonders durch die Einfachheit der Bauart, noch mehr aber durch die mathematische Richtigkeit ihrer statischen Verhältnisse aus; Nichts findet man daran überflüssig, es ist das wohlfeilst gebaute Object dieser Gattung, das ich kenne.*) — Die grösste Hängdrahtbrücke besitzt die Schweiz über das Thal von Sarine bei Freiburg, sie hat eine einzige Öffnung, ihre Lichtenweite an dem Brückenfelde gemessen beträgt 808 Fuss, die Hängpunkte stehen 870.3 Fuss von einander ab. — In Süddeutschland bilden aber die hölzernen Brücken unter verschiedenen Formen die vorherrschende Construction, hierbei bewähret sich bei mässigen Spannweiten das Häng- und Sprengwerkssystem am besten; die Holzbogen-Brücken, hierunter die nicht sonderlich gelungenen Wiebeking'schen, die in Baiern häufig vorkommen, gestatten allerdings grosse Spannweiten, unterliegen aber einer kurzen Dauer, da jedes Rippenglied schon in der allmälig vor sich gehenden Zerdrückung seiner Holzfasern, im Vereine mit der erschütternden Elastizität des Ganzen, das Element der Auflösung in sich trägt, welche schnell und vollends durch den Einfluss des Temperaturswechsels herbeigeführt wird. An steinernen Brücken haben einige Hauptstädte und Orte schöne Monumente, grosse steinerne Bögen sind aber selten, ausserordentlich weite Spannungen kommen nicht vor.

Frankreich hat an Brücken mannigfaltige Bauwerke, die mitunter grosse Spannungen besitzen; die steinerne Construction ist jedoch die vorherrschende. — Die Tuileries haben den imposanten Anblick einer Reihe von prachtvollen, steinernen und eisernen Brücken über die Seine.

England, die erste Seemacht der Welt, leidet Noth an Holz, daher sind in jenem sonst merkwürdigen Lande hölzerne Brücken eine Seltenheit; das Eisen und die übrigen Baumaterialien ersetzen aber diesen Mangel reichlich. — England verarbeitet jährlich 1,512,000 Tonnen Eisen, Frankreich produzirt 600,000 Tonnen, Österreich und Preussen zusammen 200,000 Tonnen, die vereinigten Staaten Nord-

---

*) Die eigentlichen Baukosten dieser, im Jahre 1839 begonnenen vom 4. November 1841 der Benützung des Publicums eröffneten Brücke beliefen sich nur auf 333,133 fl. 49 kr. C. M.

amerikas eben so viel, Belgien 150,000, Russland eben so viel, Schweden 120,000, Spanien, Italien, Baiern, Sachsen und Dänemark produziren zusammen 234,000 Tonnen; mithin beläuft sich die Eisenproduction Europas und Nordamerikas auf 3,166,000; die Eisenhütten Englands allein liefern also so viel als die übrigen Länder zusammen. — Der Ingenieur findet dafür an den übrigen Brücken-Constructionen eine ganze Schule der Brücken-Architektur, eine Auswahl der vortrefflichsten Bauwerke der Welt. Die steinerne London-, Waterloo-, Westminster-Brücken, die gusseiserne Southwart-Brücke, die Brücke von Eisen Wauxhall und die Hamersmith-Kettenbrücke, sämmtlich über die Themse in London, bieten den imposantesten Anblick und bilden eine Zierde jener unermesslichen Hauptstadt. — An eisernen Brücken aller Arten und Grössen besitzt das Land einen wahren Reichthum. Die Kettenbrücke bei Bangor über die Meerenge, Menai genannt, hat die lichte Weite von 570 Fuss, und die Höhe der Fahrbahn über den Wasserspiegel von 121 Fuss. Aber in ihrer Gattung und Grösse ist die unweit von der Seeküste über den Du River gespannte Brücke bei Chester aus einem einzigen Bogen, und zwar aus einem reinen Kreissegmente mit 202 Fuss Sehne bei 50 Fuss Pfeilhöhe, die einzige der Welt, sie füllt in der Brücken-Architektur der Welt den vor fünf Jahrhunderten von der italienischen Brücke bei Trezze in der Lombardie hinterlassenen Rang ehrenvoll aus. Die Brücke ist durchaus von rein behauenen Quadern einer so einfachen als gefälligen dorischen Architektur und bildet die erste Merkwürdigkeit der Cheshire Grafschaft.

Nordamerika aber, von vielen Strömen und Flüssen durchschnitten, von unermesslichen Waldungen bedeckt, ist von Natur aus fast ausschliesslich auf die Anwendung hölzerner Brücken angewiesen. Das dringende Bedürfniss nach neuen, weiten und schnellen Verbindungen in einem Lande, welches es sich zur Aufgabe gemacht hat, in wenigen Jahrzehenden das nachzuholen, was es durch viele Jahrhunderte entbehrte, musste zur Vermehrung der Flussübersetzungen beitragen. Es entging aber dem praktischen Sinne der Amerikaner nicht, dass jeder Brückenbau jenen Schwierigkeiten und Unkosten unterliegt, welche, mit der Ausführung einer kunstmässigen Anlegung ihres Unterbaues, mit dem ungehinderten Abflusse der Hochwässer des Flusses, zuweilen auch mit der Schonung der Schifffahrt verbunden sind. Die Eine so wie die Andere erschweren oft die Ausführung des Objectes im Verhältniss zu der Anzahl der Brückenpfeiler, welche zur Unterstützung des Oberbaues dienen. Je mehr also der Brückenbau deren entbehren kann, desto leichter werden die langwierigen und kostspieligen Vorarbeiten zu vermeiden sein. — Dies nun war die Aufgabe der Amerikaner: eine solche Brücken-Construction zu erdenken, welche sich, bei noch so weit von einander abstehenden Unterstützungen des Ober-

baues, zu tragen vermöchte; da bei sonst gleichen Verhältnissen, je grösser die Öffnungen zwischen zwei Pfeilern sind, desto geringer die Anzahl der Pfeiler ausfallen muss. Hierin liegt zunächst das Motiv jener Holz-Construction der Brücken, welche auf dem Princip beruhet, dem Oberbau mittelst einer künstlichen Zusammensetzung seiner Seitenwände jene Erfordernisse der Statik zu verleihen, um sich selbst und die darüber gehenden Lasten für noch so grosse Spannweiten tragen zu können.

Das Princip ist auch bei uns und zwar seit Jahrhunderten bekannt, wir haben es vielfältig angewendet und unter den oben berührten Bauarten auf mancherlei Weise durchgeführt. Nur haben wir es, mittelst der Anwendung unseres Häng- und Bogensprengwerk-Systems, hinsichtlich der Erweiterung der lichten Öffnung nicht so weit gebracht, wie dies in Nordamerika der Fall ist; so viel wenigstens ist gewiss, dass bei unserer Constructions-Art jede Überschreitung der üblichen Spannweiten durch eine ungleich mehr erkünstelte Zusammensetzung des Gehölzes, oft noch durch Aufopferung weiterer Rücksichten, erkauft werden muss. Es gehet aber aus dem Obenerwähnten hervor, dass bei unsern fisischen Landesverhältnissen die Anwendung hölzerner Brücken nicht eine allgemeine sei, sondern dass die hölzerne Construction, andern Brücken-Systemen gegenüber, als eine Secundäre angesehen werden müsse; denn, unter übrigens gleichen Umständen, sind unstreitig die ewig dauernden steinernen; und, nach diesen, die eisernen Brücken dem schnell vergänglichen Holzbau vorzuziehen.

Gleichwohl findet in manchen Fällen auch bei uns die hölzerne Construction eine zweckmässige Anwendung; hat sie aber einen massiven Unterbau und lässt sie grössere lichte Weiten zu, als dies bei steinernen Gewölbsbrücken der Fall ist, so behauptet die hölzerne gegen die steinerne Construction schon einige Vorzüge, deren Werth — abstrahirt von der Rubrik Ökonomie, die immer nach Ort und Verhältnissen eine relative Rolle spielt, — mit der Schnelligkeit der Bauführung sich steigert. Ja, das schnelle Vorsichgehen des Baues ist heute zu Tage beinahe zur allgemeinen Anforderung eines Bauunternehmens erhoben; werfen wir aber wieder einen Blick auf die Eisenbahnen, so finden wir in diesem Gebiete die rasche, die möglichst schnelle Ausführung des Baues zur Hauptbedingung des Unternehmens gemacht.

Es ist ganz richtig, das schnelle und wohlfeile Bauen vereinbart sich mit der Errichtung grossartiger steinerner Bögen, und bei kleineren Bogenweiten, mit verhältnissmässig vermehrten Brückenpfeilern fast niemals. Grosse steinerne Bögen vermindern zwar verhältnissmässig die Anzahl der Mittelpfeiler, oder machen selbe gänzlich entbehrlich, aber eine grosse Spannweite erfordert auch einen verhältnissmässig

höheren Bogenpfeil, was nicht immer der Höhe der Fahrbahn ökonomisch, den Flussverhältnissen technisch zuträglich ist, jedenfalles sind die dazu erforderlichen Holzgerüste ungleich kostspieliger. Wird aber bei mässigen Bogenöffnungen die Anzahl der Pfeiler vermehrt, so erwachsen noch andere Bauschwierigkeiten. Die Vorarbeiten nämlich, welche eine kunstgerechte Fundirung der Pfeiler im Flussbette, sei es mittelst Senkkästen, sei es mittelst Fangdämmen, oder sei es auch nur mittelst Anwendung eines einfachen Bettonssystems erfordert, nehmen einen grossen Aufwand an Geld und an Zeit in Anspruch. Die Anbringung von Fangdämmen, die Trockenlegung und Ausbaggerung der eingeschlossenen Baustellen, um das Fundament auf die vorgezeichnete Tiefe zu legen, ist unbestritten das sicherste Gründungssystem; aber gerade dieses Verfahren ist das kostspieligste, zugleich das langwierigste. Fällt aber diese Arbeit durch die angenommene Eintheilung der Brückenöffnungen in den Stromstrich, so ist die Überwältigung der Flussströmung im Verhältnisse der Masse und Geschwindigkeit des Wassers noch schwieriger.

Es ist daher begreiflich, dass aus dem Gesichtspunkte der Ökonomie an Geld und an Zeit, die Amerikaner bei ihren fisischen Landesverhältnissen das System der grossen Brückenspannungen bei möglichster Benützung von Holzmaterial mit besonderer Vorliebe in Anwendung brachten.

Wie gross in Nordamerika der Reichthum an Holz sei, ist aus keiner Statistik zu entnehmen, und es kann auch unmöglich bei der ungeheuren Ausdehnung der Waldflächen und der Urwälder jenes Landes, nachgewiesen werden. Was die Eingewanderten im Westen an Grund und Boden um Spottpreise käuflich an sich bringen, sind durchaus Waldungen, die ausgerottet und urbar gemacht werden; es sind beträchtliche Grundflächen, die hierdurch alljährlich dem Forstlande abgenommen werden, und dennoch unbedeutend im Vergleiche zu jenen, die unbenützt übrig bleiben. England enthält sich nicht die Fichtenwaldungen in Canada zu lichten, und dennoch bleibt das Land bei all dem an Holz reich. Aus seinen Forstbesitzungen allein hat die Union eine jährliche Ausfuhr von Forstprodukten nach dem Auslande von mehr als fünf Millionen Dollars im Werthe. Im Jahre 1842 war die Ausfuhr im American Almanach wie folgend angegeben, als:

An Bauholz einschliesslich von Masten, Schiffeichen u. a.	2,926,846 Dollars
An Baumharz, Theer, Pech, Terpentin etc.	1,135,722 „
An Pelzen vom Forstwilde	1,260,517 „
Gesammtes . .	5,323,085 Dollars

Folgende Übersicht der grösseren Flüsse der vereinigten Staaten bietet einen Begriff der hydrographischen Verhältnisse des Landes.

	Flüsse.	Ursprung.	Ausmündung.	Länge in englischen Meilen.
1	Mississippi-Strom	östlich von den Felsgebirgen (Rocky Mountains)	Golf von Mexico	2910
2	Missouri-Fluss.....	westlich von dem Felsgebirge	Mississippi	3181
3	Arkansas- »	Felsengebirge	—	2170
4	S. Laurenz-Strom	Ontario-See	Hudson-Bai	1650
5	Plata-Fluss	—	Missouri	1600
6	Red- »	—	Mississippi	1500
7	Ohio- »	bei der Vereinigung des Alleghani mit den Mononghaela-Fluss bei Pittsburg	—	1372
8	Columbia-Strom.....	westlich von Rocky Mountains durch das Oregon-Gebiet.	Stillen Ocean	1315
9	Kanzas-Fluss	—	Missouri	1200
10	Yellowstone-Fluss ...	—	—	1100
11	Tennesse-Fluss	Alleghany-Gebirg (westl.)	Ohio	756
12	Alabama-Strom.....	» (südl.)	Golf von Mexico	575
13	Cumberland-Fluss....	» (westl.)	Ohio	570
14	Susquehanna-Strom ..	» (östl.)	Chesapeake-Bai	460
15	Illinois-Fluss	—	Mississippi	430
16	Appalachicola-Strom..	Alleghany-Gebirg (südl.)	Golf von Mexico	425
17	St. Johns-Fluss	—	—	415
18	Connecticut-Fluss....	New-Hampshire (Staat)	Long Island Sound	410
19	Wabash-Fluss	Indiana	Ohio	360
20	Delaware- »	—	Atlant. Ocean	355
21	James- »	Alleghany-Gebirg (östl.)	Chesapeake-Bai	350
22	Roanoke- »	» (östl.)	Albemarle Sound	350
23	Great Pedee-Fluss....	» (östl.)	Atlant. Ocean	350
24	Santee-Fluss.....	South Carolina (Staat)	—	340
25	Potomac-Strom	Alleghany-Gebirg (östl.)	Chesapeake-Bai	335
26	Hudson-Fluss.....	—	Atlant. Ocean	320
27	Alatamaha- »	Georgia (Staat)	—	300
28	Savannah- »	South Carolina	—	290
			Im Ganzen	25388 Meilen

Hierzu kommen noch eine Unzahl Nebenflüsse minderer Cathegorie, dann die bereits eröffneten Schifffahrts-Kanäle, welche sich auf die gesammte Länge von 3500 Meilen belaufen. Diese und die Eisenbahnen, deren gesammte eröffnete Länge gegenwärtig etwa 3450 Meilen beträgt, haben die Anwendung der Brücken mit grossen Spannungen in den meisten Fällen nothwendig gemacht und ihre Anzahl bedeutend vermehrt.

NORDAMERIKANISCHER BRÜCKENBAU.

Bogenwerks-, Towns- und Longsbrücken.

Die Amerikaner haben wohl die Anzahl der Pfeiler möglichst zu vermindern gesucht, haben jedoch die Schwierigkeit, die mit der Herstellung steinerner Pfeiler, in noch so grossen und reissenden Flüssen verbunden ist, nicht gescheut; sondern viel mehr den Grundsatz angenommen, den Unterbau von Steinen und nur den Oberbau von Holz herzustellen. Ausnahmen von Pfahljochen kommen selten vor.

Was die Constructionsart des Oberbaues belangt, so haben die Brücken der vereinigten Staaten durchgehends die Anwendung der grossen Spannweite, dann des Princips mit einander gemein, dass der sich selbst tragende Oberbau sich von einem Pfeiler zum andern horizontal erstreckt und auf diesen blos aufliegt, so dass die Pfeiler keinen Seitendruck erleiden, sondern nur mittelst ihrer absoluten Festigkeit den verticalen Druck der Brücke und ihrer Belastung zu tragen haben. Im Übrigen zerfällt der Verband des Oberbaues in vier verschiedene Constructionsarten. Diese sind folgende:

die Holzbogenwerksbrücken,
die Brücken nach Towns-System,
die Longs-Brücken und
die Brücken nach Howes Erfindung,

diese letzten sind die neuesten.

Brücken nach dem Bogenhängwerks-System.

Diese ist die älteste Brücken-Construction der vereinigten Staaten, vor einigen Jahren durch den Ingenieur Burr verbessert und vereinfacht, daher gegenwärtig Burr'sches System genannt. Das Brückenfeld ist, so wie dies in der

Regel der Fall ist, in zwei gesonderte Bahnen getheilt, beruht auf drei Tragwänden, welche jede aus einem in Felder abgetheilten, aus Streben, Ständern, oberen und untern unter sich parallelen Längenzangen zusammen gesetzten Rahmwerk bestehet, welches durch einen über jede Brückenöffnung gespannten Holzbogen, verstärkt ist. Der Bogen ist ein, aus doppelten an einander angenagelten Pfosten gebildetes Kreissegment, dessen Pfeilhöhe je nach der Lichtenweite der Brückenöffnungen verschieden, der Bogen selbst jedoch in der Art angebracht ist, dass seine zwei Füsse unter das Rahmwerk. reichen, und auf einen Absatz an den Pfeilern angestemmt sind. Bei grösseren Spannungen ist das Bogenwerk aus zwei auch aus drei mit einander concentrischen Kreissegmenten gebildet. Die Breite der Pfosten beträgt 12 bis 14, die Dicke beider an einander liegenden Pfosten beträgt im Ganzen 4 bis 6 Zoll. Am häufigsten kommt diese Construction in Pennsylvanien vor. In Pittsburg, der Hauptfabriksstadt Pennsylvaniens, befinden sich derlei Brücken fünf an der Zahl, sehr nahe beisammen.

Die interessantesten habe ich am 5. Juni 1842 aufgenommen und ich bin Willens, sie mit andern Brücken der vereinigten Staaten zu veröffentlichen. Diese haben sämmtlich ein hölzernes Dach und eine Bretterverschalung an den Seitenwänden. Die grössten bekannten Spannweiten sind unter jenen mit dieser Constructionsart gebauten Brücken zu sehen, man findet in Pennsylvanien Brückenfelder von 80 bis 240 Fuss Spannweite. Die Bogenbrücke dieser Cathegorie über den Schuylkill-Fluss in Philadelphia misst sogar 345 Fuss Spannweite. Die Brücke über den Susquehanna-Fluss bei Columbia hat bei der gesammten Länge von 1⅒ Meile 53 Öffnungen, sie setzt die Baltimore-York mit der Columbia-Philadelphia Eisenbahn in Verbindung, wird mit Pferden befahren und in 15 Minuten zurückgelegt.

Towns-Brücken.

Taf. I. Fig. 1, 2, 3 u. 4.

Eine erst seit wenigen Jahren eingeführte ganz eigenthümliche Brücken-Construction ist jene des Ingenieur Town aus New-Haven, Lattice-Work (Gitterwerk) genannt. Es sind Wände, welche aus zwei in entgegengesetzter Richtnng schräg gestellten Reihen von sich übereinander kreuzenden 3 Zoll dicken 12 Zoll breiten fichtenen Dielen zusammen gesetzt sind, und lothrecht auf den Pfeilern ruhen. Diese Wände sind an ihrer oberen und unteren Kante mittelst an beiden Seiten angebrachten fortlaufenden Streckhölzern (Längenzangen, auch Längenbänder) zusammen gehalten. Diese Wände sind die eigentlichen Träger des Brückenfeldes, und der Brückenbedachung; sie liegen auf den Pfeilern mittelst

der untern Längenbänder auf; auf diesen werden die Querhölzer der Fahrbahn gestreckt, und auf letzteren die Brücken-Bedielung befestiget; auf den oberen Längenbändern wird das Dach der Brücken aufgesetzt.

Die eigentliche Verbindung der Bestandtheile der Tragwände unter sich ist durch Nägel bewirkt. Wo nemlich die Dielen sich überdecken, werden sie mittelst hölzerner Bolzen an einander befestiget, und dasselbe geschieht bei den Längenbändern, welche aus doppelten an einander überlegten Dielen gebildet, und mittelst hölzerner Nägel unter sich und an dem Gitterwerke zusammen gehalten werden. Die Grösse der Spannweite bestimmt sowohl die Anzahl als auch die Höhe der Tragwände und der Längenbänder. Horizontalen Schwankungen wird, so wie diess auch bei anderen Bauarten der Fall ist, mittelst Windstreben und, oben am Dache, mittelst Querriegeln, begegnet.

Es hat für diese Constructionsart eine Modeepoche gegeben, wo ihre Anwendung eine fast allgemein gewordene war. Die gänzliche Vermeidung von grossen Balken und von Eisenbestandtheilen, und die fast ausschliessliche Benützung von gewöhnlichem Breterwerk bei Erzielung von grossen Spannweiten durch einen einfachen Verband, rechtfertigte allerdings den Ruf, den sich diese amerikanische Erfindung erworben hatte. Brücken dieser Constructionsart habe ich in allen vereinigten Staaten, die ich bereiste, meistens in Pennsylvanien auf Eisenbahnen und Chausseen, über grosse Flüsse und Kanäle gesehen.

Die Eisenbahn von New-York nach Harlem setzt über den Meerbusen Harlem intet, mittelst einer 700 Fuss langen Town's lattice Brücke, mit vier Öffnungen zu 175 Fuss im Lichten. In und bei Philadelphia, auf der Philadelphia-Columbia-Eisenbahn, in Schenectady, Utica, Rochester und Lockport über den Erie-Kanal und an anderen Orten findet man diese Constructionsart sehr häufig angewendet.

Diese Brücken unterscheiden sich in einfache und doppelte *lattice-work wood bridges,* je nachdem das Gitterwerk einfach oder doppelt angewendet ist, was von der Grösse der Spannweite und von der Last, für welche die Brücke bestimmt ist, abhängt. Bei den dermal bestehenden Brücken ist jedoch eine solche Eintheilung angenommen worden, bei welcher die Spannweite nicht über 200 Fuss ausfiel; bis 120 zuweilen auch bis 150 Fuss findet man noch das einfache *lattice-work* angewendet. In England auf der Birmingham-Gloucester-Eisenbahn und zwar in der Strecke zwischen Birmingham und Bomsgrove fand ich Gitterwerkbrücken nach Town's System ausgeführt; sie wurden so wie manche andere amerikanische Einrichtungen von dem Resident-Ingenieur Mr. Hughes eingeführt; eine hat

117 Fuss im Lichten. In England ist diese Brücken-Construction unter der allgemeinen Benennung *american timber bridges* bekannt.

Brücken nach Long's System.

Taf. I. Fig. 5, 6, 7, 8 u. 9.

Eine nicht unbedeutende Rolle spielen in Nordamerika die Brücken nach dem Long'schen System, *Col. S. H. Long's Bridges*, gebaut. Dieses System ist keine absolute Erfindung, sondern es ist eine Modification des früher bestandenen Bogenwerkssystems. Der Oberstlieutenant vom Ingenieur-Corps der vereinigten Staaten Mr. Stephan H. Long hat nämlich das Hängwerk, welches mit den hölzernen Bögen verbunden ist, als Tragwand beibehalten, die Felder derselben enger gemacht, den gespannten Bogen hinweggelassen, hierfür in jedem Felde eine Gegenstrebe angebracht; so dass, jedes Feld derselben aus Ständern, aus den sich durchkreuzenden Streben und Gegenstreben besteht, und diess alles bildet mit den oberen und unteren beiderseitigen Längenzangen (Längenbänder), im Vereine mit den an den Einlassstellen der Ständer, dann an den Stemmpunkten der Streben und Gegenstreben gegen die Ständer, und zwischen den beiden Längenbändern der obern und untern Reihe angebrachten Keilen, den ganzen tragenden Rahmen-Verband. Zuweilen ist aber dieses Häng- mit einem Sprengwerke zusammen gesetzt, welch' Letzteres gleichsam den unterbliebenen Holzbogen ersetzt. Auf sein System erhielt Col. Long bereits im Jahre 1837 ein Patent; später aber verbesserte er dasselbe durch vielfältige Modificationen des Holzwerkes; indem er aus seinem Systeme von Rahmen-Gerüst-Brücken, *truss-frame Bridges*, zwei Brücken-Cathegorien und zwar: 1. Die *inproved brace Bridges* Taf. I. Fig. 5, bei welcher das Häng- mit einem Sprengwerke zusammen gesetzt ist; und 2. die Suspensions-Bridges, Fig. 6, 7 u. 8, bei welcher das Traggeländer durch Hinweglassung des Sprengwerkes, und durch einen eigenen Verband der Ständer, Streben und Gegenstreben unter sich und mit den Längenbändern, auf ein reines Hängwerk reducirt ist, bildete. Diesen zwei verbesserten Constructionen wurden im Jahre 1839 zwei Patente zuerkannt, und Col. Long veröffentlichte sofort eine Beschreibung derselben in einer den Titel *Sundry improvements in the construction of wooden or frame bridges, devised by St. Col. Stephen St. Long etc.* führenden Abhandlung, womit ich sammt andern interessanten wissenschaftlichen Gegenständen von dem Herrn Obersten Evret bei meiner Anwesenheit in Washington beschenkt wurde.

So wie bei den *Town's lattice work Bridges*, eben so bei den Long'schen *Frame Bridges* hängt die Höhe und auch die Anzahl der Träger von der

lichten Weite der Spannungen ab. Eine Long'sche Brücke über den City-dock-Kanal in Baltimore hat bei 500 Fuss Spannweite und 41 Fuss 4 Zoll Fahrbreite, vier Tragwände, zwei nemlich an den zwei äussern Rändern und zwei beisammen in der Mitte, deren jede nur Eine Reihe Ständer, Streben und Gegenstreben und zwei Reihen Längenbänder und die Höhe von 8 Fuss von der untersten bis zu der obersten Kante hat. Sind die Ständer zweifach, so müssen die Längenbänder wenigstens dreifach sein.

Bei den Long's Brücken ist die Fahrbahn entweder unmittelbar auf den unteren Längenzangen oder zwischen diesen und den obern, die Kreuzstreben jedoch jedesmal in derselben Ebene der untern Kante der Tragwände angebracht.

Unter die nach Long's System gebauten Brücken, die ich auf meiner Reise zu besichtigen Gelegenheit hatte, fand ich keine mit Brückenöffnungen über 150 Fuss Spannweite. Eine solche Spannung hat die Brücke auf der Baltimore-Ohio-Eisenbahn zwischen Ellicotts Mills und Parsville über den Patapsko-Fluss, nach ähnlichem System gebaut. Die Brücke bei Brunswich über den Maritan-Canal hat bei einer Länge von 1700 Fuss, Öffnungen nicht über 145 Fuss.

Es liegt nicht in meiner Absicht, noch gestattet es der Umfang dieser kurzen Schrift in eine ausführliche Beschreibung und Untersuchung der Town's und Long's Brücken einzugehen, nur hielt ich es für gerathen eine flüchtige Erwähnung, derer Bauart der nachstehenden Beschreibung der Connecticut-Brücke vorauszuschicken, um dem Leser ein vergleichendes Bild der drei echt amerikanischen Holzbrücken-Constructionen darzubieten.

Brücke über den Connecticut-Fluss

nach Howe'schem System gebaut.

Diese Brücke, mittelst welcher die grosse ostwestliche Eisenbahnverbindung zwischen der atlantischen Küste und den Niagara-Fällen, den Seen Erie und Ontario von Boston über Albany nach Niagara und Buffalo, den Connecticut-Fluss bei Springfield übersetzt, ist auf Tafel II. Fig. 2 und 3 abgebildet. Sie hat sieben Öffnungen, jede zu 180 Fuss Spannweite, von Mitte zu Mitte der Pfeiler gemessen; und eine Gesammtlänge von 1320 Fuss. Ihr Unterbau besteht sonach aus zwei Land- und sechs Mittelpfeilern, welche sämmtlich auf Pilottenrösten hergestellt, und von Stein gebaut sind, ihr Oberbau ist von Holz nach Howe's System. Folgende Beschreibung der Construction dient zur Erläuterung der Zeichnung. Fig. 6 stellt einen Durchschnitt der Brückenbahn vor, aus welchem die eigentlich tragenden Theile,

die beiden Seitenwände *C*, *D* (Tragwände) genau ersichtlich sind. Diese beiden Tragwände bestehen aus Feldern und diese aus drei Haupttheilen, durch deren Verbindung unter einander das Ganze zu einem eigentlichen Hängwerke für sich gebildet wird. Es sind folgende:

1. Die Kreuzstreben (Haupt- und Gegenstreben — *main and counter braces*).
2. Die oberen und unteren Zangenhölzer (auch Längenbänder — *upper and lover chords*).
3. Die Hàngeschraubenstäbe (eiserne Stäbe — *iron rods*).

Die Kreuzstreben bilden ein System von Hauptstreben *b, b, b* (Fig. 4 u. 5) und *b′, b′* (Fig. 5) und Gegenstreben *c′, c′, c′* (Fig 4 u. 5), welche sich mit ihren Endpuncten unter einem gewissen Winkel auf feste unbewegliche Puncte stützen. Diese Letzteren werden durch die Zangenhölzer *a, a* (Fig. 4, 5, 8 u. 9) und Hängeschrauben *k*, *k* (Fig. 5 u. 7) hergestellt. Diess ist im Allgemeinen die Beziehung, in welcher diese drei Haupttheile zu einander stehen, und die Tragwände der Brücke — *trusses* — bilden (Fig. 2, 4 u. 5).

Die Detail-Verbindung derselben ist aus den Fig. 4, 5, 6, 7, 8 u. 9 ersichtlich.

Die Zangenhölzer *a*, *a*, *a* sind $^{8}/_{10}$″ im Durchschnitte, 28 bis 42 Fuss lang und es liegen deren durchgehends drei hochkantig neben einander, jedoch so, dass ihre Stossfugen wechseln, das heisst, dass auf jedes Drittheil der Länge eines Holzes eine Stossfuge eines der beiden Nebenliegenden kommt.

Jedes Zangenholz besteht aus zwei auf die Kante gestellten, jedoch vollkommen an einander sich schliessenden Pfosten; diess ist aber nicht immer absolut nothwendig, denn die zwei Pfosten können durch einen ganzen Balken ersetzt werden, wenn nur der Balken denselben Querschnitt hat, wie die zwei Pfosten zusammen. Aber eine absolute Bedingung der Construction besteht darin, dass die obere und untere Reihe der Längenzangen *a, a, a* bei jeder Tragwand ununterbrochen über die Pfeiler fortlaufen müssen, wie die Seitenansicht Fig. 2 und 4 zeigt, wodurch jede Tragwand als ein ganzer Balken zu betrachten ist, welcher sich von einem Landpfeiler bis zum andern streckt und durch Mittelpfeiler unterstützt ist. Bei dieser Anordnung, dann durch das stärkere Holzgebinde der Tragwände an deren Auflagsstellen *a, a, a* (Fig. 2) auf den Pfeilern, ist abgesehen auf eine Gegenwirkung des ganzen Systems gegen das Biegen; ein Streben, welches die Tragwand in der Mitte *b, b, b* (Fig. 2) jeder Spannweite durch ihre eigene Last dann durch die Belastung, für welche die Brücke berechnet ist, an sich hat. Ich komme weiter unten auf diesen Gegenstand zurück.

Die drei Zangenhölzer sind durch Schrauben *d*, *d* (Fig. 5) und an diesen Puncten zwischen sie gelegten 2″ dicken Holzklötzchen ganz fest mit einander verbunden. Der Zwischenraum von 2″ zwischen den Zangenhölzern ist bedingt durch die Dicke der Hängschrauben, welche dazwischen durchgehen müssen.

Ein solches System von Zangenhölzern befindet sich oben und unten und bildet die obere und untere Kante einer jeden Tragwand, und zwischen ihnen befindet sich das Strebensystem. Die ganze Höhe mit Einschluss der oberen und unteren Zangenhölzer beträgt $^1/_{10}$ der ganzen Spannung, nämlich 18 Fuss.

Die Anordnung der Kreuzstreben, welche aus $^8/_8$″ Fichten-Balken bestehen, geht von der Mitte einer Brückenöffnung aus, u. z. auf folgende Weise. In Fig. 5 bezeichnet die vertikale Linie *C*, *D* die Mitte der Spannweite für jedes Brückenfeld. Von dem oberen Puncte, (Stützpuncte) *e* gehen zwei Paar Diagonalstreben *b* und *b′* nach entgegengesetzter Richtung aus. Jedes Paar steht so, dass die äussere Fläche jeder Strebe mit der äusseren Fläche der Zangenhölzer bündig ist, so dass zwischen je zwei, ein Paar bildende Streben noch ein Raum von 12 Zoll bleibt, und die beiden von dem unteren Stützpuncte *e* nach entgegengesetzten Richtungen ausgehenden Gegenstreben *c′*, *c′*, dazwischen durchgehen können. Von allen übrigen Stützpuncten gehen jedoch nur drei Streben aus, und zwar die zwei Hauptstreben nach einer Richtung, und die dritte, welche die Gegenstrebe bildet, nach der entgegengesetzten. — Diese Anordnung geht so fort, bis auf die beiden Enden eines Brückenfeldes und man sieht, dass auf diese Art in jeder Hälfte des Feldes die Hauptstrebenpaare nach Einer und die einfachen Gegenstreben nach der entgegengesetzten Richtung laufen; in Bezug auf die beiden Hälften gegen einander aber die Hauptstreben, so wie die Gegenstreben nach entgegengesetzten Richtungen laufen. Eben so ist klar, dass sich die Hauptstreben mit den Gegenstreben nicht kreuzen müssen noch berühren können, da Letztere zwischen jedem Paar der ersteren ungehindert durchgehen können, und zwischen den Einen und den Andern die vertikalen eisernen Stäbe durchgehen müssen, und eine Kreuzung von zwei Gegenstreben oder zwei Paar Diagonalstreben mit einander nirgends vorkommen kann. — Eine Ausnahme hiervon machen bloss der mittelste Punct, in welchem sich in Folge der erwähnten Anordnung, die von den beiden nächsten Stützpuncten rechts und links *e*, *e′*, ausgehenden Streben unter sich, dann mit den Hauptstreben *b*, *b* in *f*, *f* in einer Ebene kreuzen.

Diese Kreuzung ist durch eine vollkommene Überspaltung der beiden Streben möglich gemacht.

Fig. 7 stellt einen Durchschnitt nach *C, D* und die sich in 0 kreuzenden und gegenwärtig überplattenden Streben dar. Ich habe die Details dieser Zusammensetzungsweise an Ort und Stelle eigens aufgenommen, weil es von diesem, vom Mittelpuncte jeder Brückenöffnung aus nach beiden Seiten hin symmetrisch angeordneten System abhängt, in beiden Hälften jeder Spannweite ein gleichförmiges Zusammenwirken des Holzverbandes zu erzwecken. Diese Anordnung des Strebsystems kann am leichtesten aufgefasst werden, wenn man sich zuerst vom obern Stützpuncte *e* der Mittellinie jedes Brückenfeldes *C*, *D*, die zwei Hauptstreben *b*, *b'* symmetrisch nach abwärts, und vom untern Stützpuncte *e* die zwei Gegenstreben *c'*, *c'* nach aufwärts ausgehend denkt; dann sind alle jene rechts und links von der Mittellinie *C*, *D*, mit den Hauptstreben *b*, *b* parallel laufenden Hölzer ebenfalls Hauptstreben, wogegen jene mit den Gegenstreben *c*, *c'* parallel laufenden Hölzer sämmtlich Gegenstreben sind.

An allen zwischen den Hängestäben sich befindenden Kreuzungsstellen *f*, *f* sind die zwei Haupt- mit den Gegenstreben durch eiserne Bolzen, ganz auf ähnliche Art, wie die Zangenhölzer mit einander verbunden. — Als Stützpunkte für die Streben dienen die Klötzchen *l*, Fig. 4, 5 u. 9. Sie sind aus $^{12}/_{12}$zölligen ausgesuchten weissen Eichenhölzern sehr hart, haben eine Länge, welche, wie aus Fig. 9 ersichtlich ist, der Breite der drei nebeneinander liegenden Zangenhölzer, respective Dicke der Tragwände entsprechend ist, und sind in die Zangenhölzer selbst 2 Zoll tief eingelassen.

Jedes Klötzchen ist für die durchlaufenden Hängesäulen mit zwei Löchern versehen, und hat zwei symmetrische schiefe Flächen angearbeitet, welche senkrecht auf die Richtung der Streben stehen, und an welchen sich die Letzteren mit ihren Stirnflächen anstämmen. — Wie aus Fig. 2, 4 und 5 zu ersehen ist, sind die Tragwände durch die Anbringung der Hängestäbe *k* in Felder abgetheilt, deren Höhe von der Entfernung zwischen den obern und untern Zangenhölzern gegeben, und deren Breite von dem Abstande der Hängestäbe von einander bestimmt ist.

Die Hängestäbe, welche mit Ausnahme der zwei engeren Felder zunächst der Pfeiler, 6 Fuss 11 Zoll von einander entfernt, und immer in der vertikalen Ebene der Stützpuncte der Streben angebracht sind, sind aus 2 Zoll dicken runden Schmiedeisen unten mit einem Kopf, und oben mit einem Gewinde nebst Schraubenmutter versehen. Es befinden sich deren immer in der oben benannten vertikalen Ebene zwei neben einander, und sie gehen zwischen den Zangenhölzern und Diagonalstreben, so wie durch die zu diesem Zwecke durchlöcherten Klötzchen durch, und lassen in ihrem Zwischenraume die in der Mitte ihrer Fläche zutreffende Gegenstrebe durchgehen.

Die Stemmhölzer *e*, *e*, so wie die in derselben vertikalen Ebene unter dem Kopf und der Mutter der eisernen Stäbe liegenden hölzernen Unterlagen bewirken, dass die drei neben einander liegenden Zangenhölzer immer zugleich in Anspruch genommen werden und mit den Hängestäben ein gleichmässig wirkendes System bilden.

Die Anordnung an den Auflagern auf den Mittel- und Landpfeilern ist von der eben angegebenen etwas verschieden. Die unteren Zangenhölzer liegen an diesen Punkten auf zwei neben einander liegenden Sattelhölzern $\ddot{n}$, $\ddot{n}$ (Fig. 4 u. 6) und diese wieder auf drei Mauerbänken *t* auf. Die Sattelhölzer sind an den Punkten, wo die Hängeschrauben durchgehen, noch durch schiefe Streben *l*, *l*, *l*, Fig. 4 unterstützt.

Die Tragwand selbst ist an den Auflagern mittelst eines Rahmens befestiget, welcher aus je drei neben einander stehenden senkrechten $^{8}/_{8}$zölligen vertikalen Ständern *m*, *m*, dann aus den in die oberen Zangenhölzer eingelassenen kleinen Unterzügen *n*, in welche Erstere eingezapft sind, und aus Diagonalstreben bestehet; durch diese Anordnung werden die als Stützpunkte für die von dem Auflager rechts und links auslaufenden Hauptstreben nothwendigen festen Punkte erhalten. Der Rahmen steht überdiess in einem gusseisernen Gehäuse *p*, *p*, welches in die Zangenhölzer eingelassen und mit Vertiefungen, den sich darin stützenden Ständern und Streben entsprechend versehen ist. — Die an den Rahmen sich anstemmenden letzten Gegenstreben werden, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, in die vertikalen Ständer eingezapft, und diese sind an den Punkten *g* durch zwei Querriegel gestützt. Wie man sieht, dient die ganze Anordnung an den Auflagerpunkten dazu, um nicht nur feste Punkte zur Stützung der auslaufenden Haupt- und sich anstemmenden Gegenstreben zu erhalten, sondern auch das System nach beiden Seiten hin, gleichmässig wirkend zu machen.

Zur Verminderung von Schwankungen bei der Bewegung der Lasten, zur Sicherung gegen die Seitenwirkung des Windes und zur Erhaltung der zwei Tragwände in stets lothrechten unter sich parallelen Ebenen, sind oben und unten in derselben horizontalen Ebene der Längenzangen, Windstreben *h*, *h*, Fig. 6. u. 8 angebracht, die an ihrem Durchschnittspunkte vollkommen überplattet und genagelt, an den Zangenhölzern um die Hälfte der Holzstärke überlegt und mit Nägeln befestiget sind, um die andere Hälfte aber gegen die vertikale Kante derselben sich anstemmen. Das eigentliche Brückenfeld, wo die Fahrbahn liegt, ruhet auf den untern Zangenhölzern; *r* Fig. 4, 5, 6, 7 u. 8 sind die Querschwellen desselben, *s* sind die Längenschwellen der Bahn selbst, und die Bedielung der Fahrbahn, welche von der äusseren Kante des einen Zangenholzes zu der äusseren Kante des Entgegengesetzten

reichen, und durch ihre Befestigung auf denselben mittelst Nägeln, eine weitere Verbindung der Tragwände unter sich bilden.

Die ganze Brücke ist nur für Ein Geleise bestimmt und die innere Breite der Fahrbahn beträgt 16 Fuss. Die Anlegung der Fahrbahn in der Ebene der unteren Zangenhölzer wurde durch das Niveau-Verhältniss der sich an die Brücke anschliessenden Bahnstrecken, so wie die Anbringung der Tragwände über dieses Niveau durch die Höhe des höchsten Wasserstandes des Connecticut-Flusses bedingt.

Die auf den Pfeilern aufliegenden Theile der Tragwände sind sämmtlich in einer und derselben Ebene, so dass die oben beschriebenen Rahmen eine und dieselbe horizontale Lage haben. Aber die Tragwände selbst haben in jeder Brückenöffnung eine vertikale Spannung, wodurch sie eine Krümmung über die gedachte horizontale Lage von 6 Zoll Pfeilhöhe (b. Fig. 2) in der Mitte jeder Brückenöffnung erhalten; die Verspannung der Längenzangen und des ganzen Gittersystemes wird beim Zusammensetzen des Holzwerkes mittelst einer darnach angemessenen Anziehung der Gewinde der Hängstäbe bewirkt. Als ich die Brücke besichtigte (Mai 1842), bestand sie schon seit zwei Jahren, und obwohl die Krümmung von 6 Zoll Pfeilhöhe auf eine Sehne von 180 Fuss, an und für sich unbedeutend ist, so war die Convexität dennoch an den Tragwänden noch vorhanden, und merklich sichtbar. Setzt sich aber die Brücke im Verlaufe der Zeit durch deren Gebrauch und durch das Austrocknen des Holzes, so wird die frühere Verspannung durch das Nachziehen der Schrauben wieder nachgeholt.

Die Herstellung dieser Brücke wurde in dem Projekte der Bahnstrecke von dem Connecticut-Flusse bis an die westliche Grenze des Staates Massachusetts gegen Albany aufgenommen, und im Jahre 1838 auf etwa 63,000 Dollars veranschlagt. Allein die Fundirungsarbeiten für die Anlegung der Pfeiler im Flussbette, welches durch Bohrungen untersucht, aus einem losen Materiale bestehend gefunden wurde; die aussergewöhnlichen Bauvorkehrungen, die eine auf das Treibeis berechnete Stärke der Fangdämme und sonstigen Kunstmittel erforderten, um die Aufmauerung der Pfeiler bis über den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand des Flusses zu bewerkstelligen, machten einen grösseren Kostenaufwand bei Herstellung des Unterbaues der Brücke nöthig, als es früher berechnet war; und die Mehrkosten beliefen sich auf 48,000 Dollars, so dass dieser Brückenbau den Aufwand von etwa 111,000 Dollars in Anspruch nahm, wovon 83,000 Dollars auf den Unterbau allein verwendet, der übrige Betrag von 28,000 Dollars von dem Oberbau in Anspruch genommen wurde.

BERECHNUNG

des Tragvermögens der Howe'schen Brücken.

Wenn die Verbindung unter den Bestandtheilen der Tragwände oder Träger näher untersucht wird, so kann man sich das statische System Letzterer durch Folgendes erklären:

Die oberen Längenzangen *a a a* sind von einem Auflagerrahmen zum andern gestreckt, bilden alle drei zusammen, der Länge und Quere nach, durchgehends ein ununterbrochenes Ganzes, und können als ein von einem Brückenkopfe zum andern gestreckter einziger Balken angesehen werden. Auf dieselbe Weise bilden die drei untern Längenzangen *a a a* einen fortlaufenden ganzen Balken, welcher ununterbrochen von einem Brückenkopfe zum andern sich erstreckt, und dazwischen eben so viele Auflager, als die Brücke Mittelpfeiler hat.

Wenn b die liegende, h' die stehende Kante jedes Zangenholzes bezeichnet, so ist der Durchschnitt des vermeinten oberen Balkens durch $3bh'$, und eben so jener des unteren durch $3\,b\,h'$ ausgedrückt. Mit diesem Ausdruck werden fernerhin, der Deutlichkeit wegen, das obere und untere System der dreifachen Längenzangen als ein einziger Balken bezeichnet.

Die eisernen Stäbe k, k u. s. w. setzen in der Art den oberen mit dem unteren Balken in Verbindung, dass, wenn die Belastung an dem unteren Balken angebracht ist, das Tragvermögen des oberen zu Gunsten des unteren Balkens ins Mitleid gezogen wird.

Wären keine Haupt- und Gegenstreben vorhanden, so wären die zwei Balken $3bh'$ ungleichmässig belastet, da der obere, nebst der Belastung des unteren, auch noch die eisernen Stäbe zu tragen hätte.

In dieser Voraussetzung würde bei einer vertikalen Biegung des Ganzen, die Zusammendrückbarkeit der Holzfasern an der concaven Kante des obern, der Ausdehnbarkeit der Holzfasern an der convexen Kante des untern Balkens nicht gleich sein können; das System könnte hinsichtlich des Gleichgewichtes, nicht als ein ganz Zusammenwirkendes angesehen, sondern es müssten die Bedingungen der Festigkeit eigens für jeden einzelnen tragenden Theil untersucht werden *).

Allein die Haupt- und Gegenstreben sind in einem festen Systeme und unter einem unveränderlichen Winkel, mit und gegen einander zusammengesetzt, und in der Art angebracht, dass sie vermittelst ihrer rückwirkenden Festigkeit den

---

*) Vergleiche Navier's Résumé de leçons sur l'application de la Mécanique etc.

sonst nach obiger Voraussetzung minder tragenden untern Balken belasten, den mehr tragenden obern Balken unterstützen.

Denkt man sich nun die Schrauben der Hängstäbe nach Maassgabe der Höhe und Festigkeit des Strebensystems fest angezogen, die Länge der Stäbe und der Streben selbst unveränderlich, die Holz- und Bolzenverbindungen unverrückbar, so ist es einleuchtend, dass die Wirkung einer jeden Belastung auf dem untern Balken sich durch die Hängstäbe dem obern Balken mittheilt, und ebenfalls jede Tendenz des obern Balkens nach vertikaler Biegung durch die rückwirkende Festigkeit der Streben wieder dem untern Balken sich fortpflanzt, so, dass so lange die Hängstäbe *k k* wirksam bleiben, jede zweckwidrige Bewegung eines tragenden Gliedes durch den zusammenwirkenden Widerstand der übrigen gehemmt wird. Mit andern Worten man kann den Satz aufstellen, dass, vermittelst des Stäbe-Schrauben- und Strebensystems der von jeder denkbaren Belastung der Brücke ausgeübte Druck auf alle tragenden Glieder gleichmässig vertheilt, dass also die tragende Wand, bestehend aus dem obern und untern Streckholze $3\,b\,h'$, aus den Hängstäben, und aus den Haupt- und Gegenstreben, in die Lage eines Ganzen versetzt wird, an welchem, wenn eine Biegung unter die horizontale Lage eintreten sollte, eine Concavität an der obern Kante, und eine Convexität an der untern Kante der Tragwand sich äussern würden, die bei den oben aufgestellten Bedingungen unter sich vollkommen gleich sein müssten.

Diesemnach kann die Tragwand, vermöge der Verbindung ihrer Glieder unter sich, als ein auf die hohe Kante gestellter Balken angesehen werden; an welchem, beim Gleichgewichte, die Zusammendrückbarkeit der Holzfasern an der concaven Kante, der Ausdehnbarkeit der Holzfasern an der convexen Kante gleich ist. Zwischen beiden Kanten sind aber Zwischenräume vorhanden, welche bei der Untersuchung des Tragvermögens des vermeinten hochkantigen Balkens berücksichtigt werden müssen.

Bei diesem Systeme spielen die Hängstäbe *k*, *k* und die Streben unstreitig eine sehr wichtige Rolle; da sie darauf angewiesen sind, jene Verbindung unter den Holzgliedern zu bewirken und stets aufrecht zu erhalten, wodurch erst die Träger die statischen Eigenschaften eines ganz festen Körpers gewinnen und fortbehalten. Hört die Wirkung der Hängstäbe durch Losewerden der Schrauben, oder überhaupt durch Lockerwerden des Systems auf, so wird auch die Verbindung aufgehoben, wo alsdann jedes einzelne Tragglied sich unabhängig von dem andern an seiner concaven Kante zusammendrückt, und an der convexen Kante ausdehnt, daher die Tragbarkeit jedes Traggliedes von der Belastung einzeln für sich in Anspruch genommen wird.

In diesem Falle wären es die horizontalen Balken $3\,b\,h'$, welche nach obigem Satze jeder für sich, vermittelst ihrer relativen Festigkeit einen Widerstand gegen die Belastung ausüben, sonst aber die übrigen Holzglieder des Strebensystems entweder bloss ausser aller Wirksamkeit gesetzt oder eigentlich als eine von dem untern Streckholze $3\,b\,h'$ zu tragende Belastung zu betrachten sein würden, während die Hängestäbe als eine Belastung des obern Streckbalkens $3\,b\,h'$ anzusehen wären.

Wenn daher V das Tragvermögen des Gitterwerkes in dem Systeme eines ganz festen Körpers betrachtet und v das Tragvermögen jedes einzelnen Balkens $3\,b\,h'$ in der Mitte der Öffnung bezeichnet, so drückt $V - 2v$ den Theil des Tragvermögens aus, welchen die Tragwand verliert, wenn die durch die Hängstäbe sonst bewirkte Verbindung des Systems aufgehoben wird. Hält nun im ersteren Falle das Tragvermögen V der Belastung das Gleichgewicht, so muss sich im letzteren Falle das Gleichgewicht aufheben, und durch den in vertikaler Richtung wirkenden Kraftüberschuss $V-2v$ die Brechung des Systems eintreten.

Da nun die Hängstäbe und die Streben obige Bedingungen des Gleichgewichtes des Systems dadurch erfüllen müssen, dass erstere durch ihre absolute, letztere durch ihre rückwirkende Festigkeit den Trägern einen Widerstand gleich dem Kraftüberschuss $V-2v$ verleihen, so ist aus diesem Ausdruck, wenn das Gleichgewicht statt finden soll, die absolute Festigkeit der Hängstäbe abzuleiten. Der Ausdruck $V-2v$ umfasst also die Beziehung der absoluten Festigkeit der Hängstäbe zu der gesammten relativen Festigkeit der Träger in sich. Wir wollen es nun versuchen, für eine gegebene Belastung die näheren Bedingungen des Gleichgewichtes aufzustellen.

Nach obigen Sätzen ist die Tragwand der Brücke als ein ganzer elastischer Körper anzusehen, folglich die Berechnung ihres Tragvermögens nach der Theorie der elastischen Körper zu behandeln. Hierzu stellen wir im Folgenden die von Navier aufgestellten Theoriesätze über den Widerstand der Körper gegen die Biegung und gegen die Brechung, wenn ihre relative Festigkeit in Anspruch genommen wird, zusammen; sodann schreiten wir zu der Entwicklung und Anwendung jener aus diesen Theoriesätzen abzuleitenden Formeln, deren Berechnung zu dem auszumittelnden Endresultate über das Tragvermögen führen.

Wenn ein prismatischer Körper gebogen wird, so dehnen sich die an der convexen Seite befindlichen Fasern aus, während jene der entgegengesetzten concaven Seite sich verkürzen. Den Übergang von dem Einen zu dem Andern bilden Fasern, die unveränderlich bleiben. Wird nun angenommen, dass, wenn diese Ausdehnungen und Verkürzungen sich wie die dieselben erzeugenden Kräfte, dann wie die Länge des Körpers verhalten, so kann man auch annehmen, dass der Wider-

stand der Fasern gegen die Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit sich wie die Grösse der Ausdehnung und Verkürzung verhalte. Demnach kann man den Widerstand gegen die Biegung wie folgt darstellen.

Fig. 10. Es sei bei *B* (Fig. 10) der prismatische feste Körper *BC* befestigt, und gebogen durch eine an seinem andern Ende *C* angebrachte Belastung *P*. Es sei *abc* ein Querschnitt des Körpers, *ee* die horizontale Linie, wo die unveränderlichen neutralen Fasern sich befinden, und zugleich die Abscissen des Querschnittes *abc* gemessen werden, während man sich die Ordinaten senkrecht auf dieselbe denkt.

Man bezeichne mit x die Abscisse, mit y die Ordinate eines beliebigen Punctes des Querschnittes, mit b den grössten Werth von x, mit y^a die Ordinate *ad* der Curve, welche den Theil des Querschnittes endet, an welchem die Fasern sich ausdehnen, mit y^v die Ordinate *bd* der Curve, welche den übrigen entgegengesetzten Theil des Querschnittes, wo die Fasern sich verkürzen, schliesst, mit l die horizontale Entfernung des Punctes *B*, wo die Belastung angebracht ist, von dem befestigten Ende *A*, die nun hier und auch im Verfolge der Berechnung der Länge des Körpers gleich gehalten wird, mit l' die Entfernung des Querschnittes *abc* vom Puncte *A*, mit r den Radius des absoluten Kreises der Curve am Querschnitte und endlich mit *K* die Kraft, welche erforderlich ist, um ein Prisma, dessen Querschnitt die Flächeneinheit selbst ist, noch einmal um seine Länge auszudehnen.

Das Gleichgewicht des Körpers zwischen dem Querschnitte *abc* und dem Ende *C* bedingt, dass das Gesammte der aus den Ausdehnungen und Verkürzungen der Fasern beim Querschnitte *abc* sich entwickelnden vertikalen Kräfte gleich der Belastung *P*, jenes der horizontalen Kräfte aber gleich Null sei, ferner, dass das Gesammte der Momente dieser vertikalen und horizontalen Kräfte, dann der Belastung *P* auf die Axe *ee* bezogen, ebenfalls gleich Null sei.

In dem natürlichen Zustande des Körpers ist dl' die Länge des unendlich kleinen Theils der Faser, deren Abscisse x und Ordinate y ist; und da $\frac{dl'}{r}$ der Winkel zweier einander folgenden Normalen ist, so drückt $\frac{dl'}{r} \cdot x$ die Grösse aus, um welche diese Länge in Folge der Biegung sich ausgedehnt hat; und das Verhältniss, nach welchem die Ausdehnung dieser Faser erfolgt ist, wird durch den Ausdruck

$$\frac{\frac{dl'}{r} \cdot x}{dl'} \text{ oder } \frac{x}{r}$$

dargestellt.

Da nun $dx\,dy$ die Fläche des Querschnittes der Faser ist, so ist deren Widerstand gegen die Biegung $k \cdot \frac{dx \cdot dy \cdot y}{r}$ und das Moment desselben auf die

Axe ee bezogen $k \,.\, dx \,.\, dy \,.\, \frac{y^2}{r}$; folglich drückt

$$\frac{k}{r}\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y, \quad \frac{k}{r}\int_o^b dx \int_o^{y^v} dy \,.\, y$$

die Summe der Widerstände beziehungsweise der ausgedehnten und der verkürzten Fasern, und

$$\frac{k}{r}\left(\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y^2 + \int_o^b dx \int_o^{y^v} dy \,.\, y^2\right)$$

die Summe der Momente derselben aus.

Das Gleichgewicht der horizontalen Kräfte unter sich ist also durch die Gleichung

$$\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y = \int_o^b dx \int_o^{y^v} dx \,.\, x$$

bestimmt. Diese Gleichung enthält zugleich die Bedingungen, unter welchen die Lage der Axe ee ausgemittelt wird.

Der Ausdruck

$$k\left(\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y^2 + \int_o^b dx \int_o^{y^v} dy \,.\, y^2\right)$$

ist das eigentliche Moment des Widerstandes des Körpers gegen die Biegung oder das Biegungsmoment, dessen Werth von der Beschaffenheit des Stoffes, und von der Form des Querschnittes des Körpers abhängt. Hierbei sind aber die Momente der vertikalen Kräfte vernachlässiget, da hier nur Körper berücksichtigt werden, deren Stärke — die hier stehende Kante — gegen ihre Länge sehr klein ist, wo alsdann die vertikalen Kräfte als unendlich kleine Grössen betrachtet, von keinem Einfluss sein können.

Wenn die Form des Querschnittes eine solche ist, dass derselbe mittelst einer horizontalen Linie in zwei symmetrische Abschnitte getheilt werden kann, so ist diese Linie die Axe des Gleichgewichtes, oder die neutrale Axe, die Linie nämlich, wo die neutralen Fasern sich befinden. Das obere Integrale verwandelt sich sodann für jeden symmetrischen Theil in Folgendes

$k\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y^2$ und für den ganzen Körper

$2k\int_o^b dx \int_o^{y^a} dy \,.\, y^2$

Es sei $abcd$ (Fig. 11) ein in ad horizontal befestigtes und in be mittelst einer vertikal wirkenden Kraft P belastetes, biegsames Parallelepipedum, ee die horizontale Linie der neutralen Fasern, der Fasern nämlich, welche an der Grenze der ausgedehnten und verkürzten Fasern sich befinden; es bezeichne b die Breite, h die Höhe des rechtwinkeligen Querschnittes des Parallelepipedums, x die Abscisse eines Punctes des Querschnittes auf der Linie ee abgemessen, und y die Ordinate

Fig. 11.

desselben Punctes, senkrecht auf der Linie $e\,e$ und k die Kraft, welche ein Prisma, dessen Querschnitt $= 1$ ist, noch einmal um seine Länge auszudehnen vermag.

Da im vorliegenden Falle die horizontale Linie $e\,e$ aus dem Körper $a\,b\,c\,d$ zwei symmetrische Theile bildet, so ist die Linie $e\,e$ als die Axe des Gleichgewichtes anzusehen; da, ferner, b den grössten Werth von x, und $\frac{1}{2}h$ die Ordinate der Krümmung, nach welcher die äusserste Ausdehnung und Zerdrückung der Fasern statt findet, darstellt, so ist das Moment des Widerstandes gegen die Biegung eines der symmetrischen Theile durch

$$k \int_o^b dx \int_o^{\frac{1}{2}h} dy \,.\, y^2;$$

und die Summe der Momente desselben Widerstandes für den ganzen Körper durch

$$2k \int_o^b dx \int_o^{\frac{1}{2}h} dy \,.\, y^2 \quad (1)$$

ausgedrückt, so dass, wenn M dieses Moment bezeichnet und das Integrale vollzogen wird, so ist

$$M = \frac{k}{12}\, b \,.\, h^3 \quad (2).$$

Fig. 12. Wenn nun der Körper in dem gebogenen Zustande $a\,b\,c\,d$ (Fig. 12) betrachtet, mit x die Abscisse $a\,g$ des Punctes f auf der horizontalen Linie $a\,e$ abgemessen, mit y die Ordinate $f\,g$, mit r der Halbmesser des obsculatoren Kreises der Krümmung bei f, mit l die horizontale Länge $a\,e$, mit y' die äusserste Ordinate $b\,e$, und mit w der von der Tangente der Krümmung in b mit dem Horizont gebildete Winkel bezeichnet wird, so ist die allgemeine Gleichung für das Gleichgewicht $\frac{M}{r} = P\,(l - x)$, und da $r = \frac{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$ und die zweite Potenz von $\frac{dy}{dx}$ als eine unendlich kleine Grösse vernachlässiget werden kann, so erhält man:

$$M \,.\, \frac{d^2y}{dx^2} = P\,(l - x),$$

$$M \,.\, dy = P\left(l\,x\,dx - \frac{x^2\,dx}{2}\right), \text{ wenn integrirt wird:}$$

$$My = P\left(\frac{l}{2}\,x^2 - \frac{x^3}{6}\right)$$

und bei $y = y'$, wo alsdann $x = l$, erhält man

$$y' = \frac{P}{M} \,.\, \frac{l^3}{3} \text{ und}$$

$$tang.\,w = \frac{3\,y'}{2\,l}$$

Fig. 13. Wenn der Körper (Fig. 13) von zwei Auflagern unterstützt und in der Mitte b von dem Gewichte $2P$ belastet ist, der Abstand der zwei Auflager $a\,a$ mit $2l$,

der Pfeil $b\,e$ der Krümmung beim Gleichgewichte, wie oben, mit y bezeichnet wird, so hat man für das Gleichgewicht selbst

$$y' = \frac{P}{M} \cdot \frac{l^3}{3} = \frac{2P}{M} \cdot \frac{(2l)^3}{48} \quad (3)$$

$$tang.\,w = \frac{3y}{2l}\,.$$

Wenn das Gewicht P auf der Länge l gleichmässig vertheilt ist, so dass auf die Längeneinheit die Belastung p entfällt, indem $P = p\,l$, so ist für den Fall der Fig. 12

$$y' = \frac{p}{M} \cdot \frac{l^4}{8}$$

$$tang.\,w = \frac{4y'}{3l}$$ und für den Fall der Fig. 13

$$y' = \frac{p}{M} \cdot \frac{5l^4}{24} \quad (4)$$

$$tang.\,w = \frac{8y'}{5l}$$

Wenn nun in die Gleichung (3) für M sein Werth aus der Gleichung (2) gesetzt wird, so ergibt sich für den Fall, als der Körper einen konstanten rechtwinklichen Querschnitt hat, dessen Breite b und dessen Höhe h ist, und in der Mitte der Länge $2l$ von dem Gewichte $2P$ belastet ist,

$$y' = \frac{2P}{k}\,\frac{(2l)^3}{4bh^3} \quad (5).$$

Aus dem Vergleiche der Gleichung (3) mit der Gleichung (4) ist zu entnehmen, dass bei übrigens gleichen Umständen die Biegung bei der Belastung in der Mitte, sich zu jener bei der gleichmässigen Belastung auf der ganzen Länge wie 8 zu 5 verhält; wenn daher bei der Gleichung (4) auch noch das eigene Gewicht des Körpers berücksichtigt werden will, und dieses Gewicht mit p' bezeichnet wird, so muss in der Gleichung statt $2P$, $2P + \frac{5p'}{8}$ aufgenommen werden.

Was den Widerstand eines Körpers gegen die Wirkung jener Kräfte, welche am nächsten sind, die Brechung desselben herbeizuführen, betrifft, so wären die Bedingungen des Gleichgewichtes in einer Gleichung zu suchen, deren Ein Glied aus den nach der Brechung strebenden Kräften, und deren Anderes aus den Widerständen, welche sich aus der Reaction der sich ausdehnenden und verkürzenden Fasern entwickeln, entstände. Allein die Aufstellung des letzteren Gliedes setzt die Kenntniss der Gegend jener Gleichgewichts-Axe, wo die unveränderlichen Fasern sich befinden, dann des Werthes jedes einzelnen Widerstandes, welchen die verschiedenen Fasern ihrer Ansdehnung oder Zusammendrückung entgegensetzen, voraus; da aber diese Daten nicht so leicht ausgemittelt werden kön-

nen, so wird zur Aufstellung der Bedingungen des Gleichgewichtes die der Wahrheit zunächst angemessene Voraussetzung angenommen, dass der Widerstand der Fasern in dem Augenblick noch, als die Brechung eintritt, den Ausdehnungen und Verkürzungen der Fasern selbst proportional ist, wie dies bei der Theorie des Biegungs-Momentes angenommen ist.

Zu unserm Zwecke genügt es solche Körper in Betracht zu ziehen, bei welchen der Querschnitt durch eine der Richtung der Kraft senkrechte Linie in zwei symmetrische Theile getheilt werden kann (vergl. Seite 22), wo alsdann die Axe des Gleichgewichtes, d. i. die Axe der neutralen Fasern mit dieser Linie, in einer und derselben Ebene sich befindet.

Wenn nun die obigen Bezeichnungen der Fig. 12 beibehalten werden, b' die Entfernung der gedachten Axe von den in der äussern convexen oder concaven, der Brechung zunächst ausgesetzten Seite befindlichen äussersten Fasern, dann mit k' der Modul der Cohäsion oder der absoluten Festigkeit, d. i. der Werth jener zur Brechung oder eigentlich zur Zerreissung eines Prisma, dessen Querschnitt die Flächeneinheit ist, erforderlichen in der Richtung der Länge dieses Prisma wirkenden Kraft, und mit M' das gesammte Brechungsmoment bezeichnet wird, da $k' dx \,.\, dy$ den Widerstand der auf der Entfernung b', $k' dx \,.\, dy \,.\, \frac{y}{b'}$ aber den Widerstand der auf der Entfernung y von der Axe des Gleichgewichtes befindlichen Fasern ausdrückt, so ist die Summe der Momente dieser Widerstände auf die neutrale Faser bezogen, für einen der zwei symmetrischen Theile

$$\frac{k'}{b'} \int_o^b dx \int_o^{1/2\,h} dy \,.\, y^2 \quad (6)$$

mithin das gesammte Brechungsmoment für den ganzen Körper

$$M' = \frac{2\,k'}{b'} \int_o^b dx \,.\, \int_o^{1/2\,h} dy \,.\, y^2$$

Wenn nun das Integrale vollzogen und bei dem rechtwinklichen Querschnitt des Körpers, dann bei der Annahme, dass die Ausdehnbarkeit der Fasern an der convexen Kante, der Zusammendrückbarkeit der Fasern an der concaven Kante gleich ist, für b' sein Werth $\frac{h}{2}$ gesetzt wird, so erhält man

$$M' = \frac{2\,k}{h} \,.\, \frac{\frac{b\,h^3}{24}}{2} = k \,.\, \frac{b\,h^2}{6} \quad (7)$$

und das Gleichgewicht mit der Kraft P ist durch die Gleichung $P\,l = \frac{k\,b\,h^2}{6}$ ausgedrückt.

Vergleicht man den Ausdruck (6) mit dem Ausdrucke (1), so zeigt sich, dass man aus dem Biegungsmoment das Brechungsmoment erhält, wenn man in das

erstere statt k, k' dann b', d. i. den Abstand zwischen der neutralen Faser und jener an der äussersten convexen oder concaven Kante liegenden dem Zerreissen oder Zerdrücken zunächst ausgesetzten Faser als Nenner setzt.

Für den Fall der Fig. 13, wo, wie oben, $2P$ die Belastung in der Mitte, $2b$ die Länge des Körpers oder den Abstand zwischen den zwei Auflagern darstellt, ist die Gleichung des Gleichgewichtes

$$M' = P \,.\, l + Py' \,.\, tang.\, w.$$

Wird nun für $tang.\, w$ sein Werth $\frac{3y'}{2l}$ gesetzt, so erhält man:

$$2P = \frac{2M'}{l\left(1 + \frac{3y'^2}{2l^2}\right)}$$

wobei M' den Werth der Gleichung (7) hat. Wird nun die Substitution vorgenommen, und das Glied $\frac{3y'^2}{2l^2}$ bei dem Umstande, als die Biegung, somit auch der Werth des Pfeiles derselben unendlich klein ist, vernachlässiget, so erhält man:

$$2P = \frac{2}{6} \,.\, \frac{k'bh^2}{l} \text{ und}$$

$$2P = \frac{k'bh^2}{3l} \quad (8)$$

Ist der Körper auf seiner ganzen Länge gleichmässig belastet, und ist die Belastung auf der Längeneinheit mit p bezeichnet; da in dieser Voraussetzung für den Fall der Fig. 13

$tang.\, w = \frac{8y'}{5l}$, so erhält man für das Gleichgewicht

$$M = pl \,.\, l + pl \,.\, y' \,.\, \frac{8y'}{5l} - pl \,.\, \frac{l}{2} \text{ oder}$$

$$\frac{kbh^2}{6} = \frac{pl}{2} \,.\, l + pl \,.\, \frac{8y'}{5l}$$

$$\frac{kbh^2}{6l} = pl\left(\tfrac{1}{2} + \frac{16y'^2}{5l^2}\right), \text{ woraus sich}$$

$$2 \,.\, pl = \frac{kbh^2}{3 \,.\, l\left(\tfrac{1}{2} + \frac{16y'^2}{5l^2}\right)} \text{ ergibt,}$$

und wenn die unendlich kleine Grösse $\frac{16y'^2}{5l}$ vernachlässigt wird, so ist

$$p \,.\, 2l = \frac{2bk'h^2}{3l} \quad (9)$$

Wenn in der Gleichung (8) bei dem Körper der Fig. 13 auch sein eigenes Gewicht berücksichtigt, und dieses mit $2p'$ bezeichnet wird, da die Gleichung (9) zeigt, dass hinsichtlich des Gleichgewichtes eine auf der ganzen Länge des Körpers gleichmässig vertheilte Belastung dasselbe wirkt, als wenn die Hälfte dieser

Belastung in seiner Mitte angebracht wäre, so muss in das erste Glied der Gleichung statt $2P$, $2P + p'$ gesetzt werden, folglich

$$2P + p' = \frac{k' b h^2}{3 l} \quad (10).$$

Obige Resultate sind sämmtlich auf die Voraussetzung gegründet, dass bei dem der Berechnung unterworfenen Körper die Ausdehnbarkeit der an dessen convexen Kante liegenden Fasern, der Zusammendrückbarkeit der Fasern, welche an dessen entgegengesetzter concaver Kante sich befinden, gleich ist, wobei die neutralen Fasern, in der Mitte der Höhe des Körpers sich befinden, d. i. $b' = \frac{1}{2} h$ ist; ferner, dass die Biegung oder der Pfeil der Kurve des Körpers gegen dessen Länge eine unendlich kleine Grösse ist, und endlich, dass der Widerstand der Fasern an beiden Kanten bis zum Eintreten der Brechung, wobei zuerst jene, an der äussersten convexen Kante zerreissen, während jene an der äussersten concaven Kante zerdrückt würden, noch immer den Ausdehnungen und Verkürzungen proportional sind.

Diese Annahmen sind nach jenen in Seite 17 u. 18 enthaltenen Betrachtungen geradezu mit dem statischen Systeme, in welchem sich die Holzglieder unserer Howe-
Fig. 14. schen Construction (Fig. 14) unter sich befinden, in Übereinstimmung, da die obere und untere Kante mittelst des Stäbe- und Strebensystems mit einander in solche Connexion gesetzt sind, dass obige Bedingungen erfüllt werden. Wenn daher der mit seinen Enden auf den zwei Auflagern A, A ruhende Körper $a\,b\,c\,d$ durchgehends voll wäre, und so, wie bisher, seine Breite d. i. die liegende Kante seines rechtwinkeligen Querschnittes mit b, seine Höhe $a\,c$ mit h, und seine Länge, d. i. der Abstand $c\,d$ zwichen den zwei Auflagern mit l bezeichnet wird, so wäre nach dem Ausdrucke (2) das Elastizitäts-Moment

$$M = \frac{k}{12} l h^3$$

und nach dem Ausdrucke (7) das Brechungsmoment

$$M' = \frac{k' l h^3}{12 \cdot \frac{1}{2} h}$$

Da aber die Felder, welche das System der Stäbe, Streben und Gegenstreben zwischen den zwei wirklich tragenden Gliedern $a\,b\,c\,d$ einnimmt, als Zwischenraum zu betrachten sind, so ist, um das Elastizitäts-Moment des statischen Systems zu erhalten*), von dem obigen Momente des vollen Körpers das Elastizitäts-Moment des Zwischenraumes abzuziehen.

Wenn nun mit h' die gemeinschaftliche Höhe, respective Stärke der Holzglieder $a\,b$, $c\,d$, mit h der Abstand derselben $a'\,c'$ bezeichnet wird, so

*) Vergl. Navier, Seite 253.

ist die Breite des fraglichen Zwischenraumes $= b$, die Höhe $h'' = h - 2h'$, und das vermeint abzuziehende Elastizitäts-Moment $= \frac{k}{12} b \cdot (h - 2h')^3$, so dass das wirkliche Elastizitäts-Moment des Körpers, den ich von nun an in Übereinstimmung mit den bei der obigen Beschreibung der Howe'schen Brücke gebrauchten Benennungen, Träger oder Tragwand oder Gitterwerk nennen werde,

$$M = \frac{k}{12} b h^3 - \frac{k}{12} b (h - 2h')^3 \text{ ist, oder}$$

$$M = \frac{k}{12} \cdot b (h^3 - h''^3)$$

und da man nach obigen Sätzen aus dem Elastizitäts-Moment das Brechungs-Moment erhält, wenn in das Erstere statt k, k' gesetzt wird, und das Ganze durch die Hälfte der Höhe des Trägers dividirt, so wird das aufgesuchte Brechungs-Moment $M' = \frac{k'}{6} \frac{b}{h} (h^3 - k''^3)$, wenn man für h'' seinen Werth $h - 2h'$ setzt, und die dritte Potenz vollzogen wird, so erhält man

$$M' = \frac{k'}{6} \frac{b}{h} (h^3 - h^3 + 6h^2 h' - 12h'^2 h + 8h'^3) \text{ oder}$$

$$M' = \frac{k'}{6} \cdot b \left[6h' (h - 2h') + \frac{8h'^3}{h}\right] (11).$$

Es ist hier der Ort Einiges über den Werth des Koeffizienten k' zu bemerken, und diesen Werth in Ziffern zu bestimmen.

Gemäss obiger Bezeichnungen drückt k' nicht den Koeffizienten der relativen Festigkeit *(transverse strenght)* des Holzes, sondern eigentlich den Koeffizienten seiner absoluten Festigkeit, d. i. jenes Widerstandes der Fasern gegen das Zerreissen durch eine in der Richtung der Fasern selbst wirkende Kraft *(direct cohesion)* aus. Der Werth dieses Koeffizienten kann auf zweierlei Art, und zwar, durch Versuche über die eigentliche absolute Festigkeit des Holzes, oder aus der Gleichung (8), wenn der Werth der Kraft $2P$, welche das Brechen eines gegebenen, an beiden Enden unterstützten, in der Mitte belasteten Balkens, durch Beobachtungen schon bestimmt ist, oder erst bestimmt wird, ausgemittelt werden.

An Erfahrungen über die absolute Festigkeit der Baumaterialien, namentlich auch des Holzes fehlt es nicht, und wir haben schon in einigen Werken, vorzüglich in jenen von Barlow und Tredgold mehrere Daten hierzu.

Ich werde aber aus dem Grunde den letztern Weg einschlagen und den Werth von k' aus der Gleichung (8), d. i. aus der relativen Festigkeit ableiten, weil über letztere in dem gedachten Werke zahlreiche Resultate aus angestellten Versuchen vorliegen, die sich auf alle Gattungen Bauhölzer ausdehnen. Zu diesem Ende werden vor allem getreu die aus Barlow's Werke entnommenen Resultate der in

dem königl. Marine-Arsenal zu Woolwich durch Mr. Stockey angestellten Versuche, angeführt, wobei k den Modul der Elastizität und S den Koeffizienten der relativen Festigkeit für Einen Quadratzoll, als Flächeneinheit, bezeichnet.

I. Tabelle.

Mass der Elastizität und der relativen Festigkeit für einige Holzgattungen bei 1□ Zoll. (Nach Barlow, Seite 146 bis 155.)

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Specifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
1	Teake-Holz 7 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte.	742	300	1.065	1020	4.75	1.2		
			300	1.093					
2		749	300	1.150	975	4.20	1.2		
			300	1.130					
3		744	300	1.276	820	4.00	..		
			300	1.192					
	Durchschnittliches	745	300	1.151	938	4.32	1.2	301800	2462
4	Poon-Holz von obigen Dimensionen.	600	150	.830	860	6.00	1.25		
			150	.780					
5		570	150	.820	848	5.75	..		
			150	.837					
6		568	150	.837	830	6.00	1.20		
			150	.830					
	Durchschnittliches	579	150	.822	846	5.92	1.225	211200	2221
7	Englische Eiche von obigen Dimensionen. 1tes	986	150	1.420	470	6.00	1.3		
			150	1.420					
8		998	150	1.700	421	5.90	1.3		
			150	1.700					
9		925	150	1.650	460	5.80	1.3		
			150	1.650					
	Durchschnittliches	969	150	1.590	450	5.90	1.3	109200	1181

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Specifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
10	Englische Eiche 7 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte. 2tes	942	200	1.260	640	7.90	1.2		
			200	1.280					
11		900	200	1 290	623	8. 30	1.2		
			200	1.290					
12		960	200	1.275	649	8.10	1.2		
			200	1.285					
	Durchschnittliches	934	200	1.280	637	8.10	1.2	181400	1672
13	Eiche aus Canada von obigen Dimensionen.	865	225	1.150	660	5.70	1.1		
			225	1.150					
14		885	225	1.009	708	6.20	..		
			225	1.011					
15		867	225	1.070	651	6.10	1.15		
			225	1.070					
	Durchschnittliches	872	225	1.080	673	6.00	1.125	268600	1766
16	Eiche aus Danzig von obigen Dimensionen.	767	200	1.710	520	5.00	1.2		
			200	1.690					
17		787	200	1.260	580	4.10	1.2		
			200	1.300					
18		713	200	1.855	580	5.50	..		
			200	1.715					
	Durchschnittliches	756	200	1.590	560	4.86	1.2	148900	1457
19	Adriatische Eiche von obigen Dimensionen.	941	150	1.070	560	6.00	1 20		
			150	1.070					
20		948	150	1.550	500	5.50	1.25		
			150	1.450					
21		1090	150	1.720	520	5.70	1.15		
			150	1 720					
	Durchschnittliches	993	150	1.430	526	5.73	1.2	121800	1383

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Specifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
22	Eschen 7 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte.	760	225	1.270	777	9.00	1.35		
			225	1.250					
23		758	225	1.300	760	9.10	1.30		
			225	1.270					
24		762	225	1.240	780	8.66	1.25		
			225	1.270					
	Durchschnittliches	760	225	1.266	772	8.92	1.3	205600	2026
25	Buchen von obigen Dimensionen.	712	150	1.075	565	6.00	1.2		
			150	1.025					
26		628	150	1.009	600	5.70	..		
			150	1.024					
27		688	150	1.025	615	5.50	1.2		
			150	1.000					
	Durchschnittliches	696	150	1.026	593	5.73	1.2	169200	1556
28	Ulme von obigen Dimensionen.	583	125	1.620	368	7.00	1.2		
			125	1.610					
29		540	125	1.420	398	6.93	1·1		
			125	1.460					
30		535	125	2.070	394	6.86	..		
			125	1.930					
	Durchschnittliches	553	125	1.685	386	6.93	1.15	87480	1013
31	Harztanne (Pitch-Pine) von obigen Dimensionen.	712	150	1.133	650	6.25	1.2		
			150	1.166					
32		628	150	1.140	595	5.75	1.2		
			150	1.110					
33		641	150	1.166	620	6.00	..		
			150	1.091					
	Durchschnittliches	660	150	1.134	622	6.00	1 2	153200	1632

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Specifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
34	Rothtanne (Fichte) (Red-Pine) 7 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte.	655	150	.825	473	5.70	1.3		
			150	.825					
35		667	150	.700	530	5.83	1.25		
			150	.725					
36		650	150	.725	530	5.96	1.25		
			150	.730					
	Durchschnittliches	657	150	.755	511	5.83	1.26⅔	230000	1341
37	Föhre aus New-England von obigen Dimensionen.	560	150	.862	446	4.50	1.36		
			150	.862					
38		560	150	.970	403	4.70	1.30		
			150	.970					
39		540	150	.960	411	4.78	1.33		
			150	.960					
	Durchschnittliches	553	150	.931	420	4.66	1.33	273900	1102
40	Föhre aus Riga von obigen Dimensionen. 1tes	730	125	.812	420	5.80	1.35		
			125	.837					
41		765	125	.912	440	6.10	1.33		
			125	.912					
42		763	125	.937	406	6.10	..		
			125	.910					
	Durchschnittliches	753	125	.870	422	6.00	1.35	166100	1108
43	Föhre aus Riga 6 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte. 2tes	714	150	.794	567	5.50	..		
			150	.794					
44		768	150	.907	367	6.00	..		
			150	.909					
45		732	150	.950	467	6.50	..		
			150	.950					
	Durchschnitlich	738	150	.883	467	6.00	..	123800	1051

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Specifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
46	Föhre aus dem Walde von Mar 6 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte. 1tes	715	125	1.560	360	5.50	1.3		
			125	1.500					
47		616	125	1.370	463	5.50	1.3		
			125	1.250					
48		684	125	1.370	465	7.00	1.3		
			125	1.370					
49		769	125	1.560	457	6.00	1.3		
			125	1.560					
	Durchschnittliches	696	125	1.442	436	6.00	1.3	80670	1144
50	Föhre aus dem Walde von Mar von obigen Dimensionen. 2tes	720	150	1.150	600	7.00	1.3		
			150	1.150					
51		756	150	1.250	517	6.00	1.3		
			150	1.150					
52		603	150	0.675	567	6.25	..		
			150	0.675					
	Durchschnittliches	693	150	1.006	561	6.42	1.3	108700	1262
53	Föhre aus dem Walde von Mar von obigen Dimensionen. 3tes	700	150	1.150	561	6.5	1.3		
			150	1.150					
54		710	150	1.230	570	6.5	1.3		
			150	1.170					
55		698	150	0.675	552	6.25	1.3		
			150	0.675					
	Durchschnittliches	703	150	1.006	561	6.42	1.3	108700	1262
56	Lärche 7 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte. 1tes	504	125	1.930	300	8.60	..		
			125	1.910					
57		576	125	1.740	340	8.60	..		
			125	1.760					
58		514	125	1.970	336	8.54	..		
			125	2 000					
	Durchschnittliches	531	125	1.885	325	8.58	..	77040	853

№ der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes.	Spezifisches Gewicht	Grösstes Gewicht und Maximum der Biegung bei unveränderter Elastizität		Brechungsgewicht in Pfunden	Äusserste Biegung in Zollen	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Modul der Elastizität k in Pfunden	Modul der relativen Festigkeit S in Pfunden
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen					
59	Lärche	552	125	0.750	300	6.00	..		
			125	0.750					
60	6 Fuss lang, 2 Zoll im Gevierte.	480	125	0.812	412	4.50	..		
			125	0.812					
61	2tes	534	125	0.875	398	4.50	..		
			125	...					
	Durchschnittliches	522	125	0.812	370	5 00	..	112200	832
62	Lärche	546	150	0.750	417	4.70	1.25		
			150	0.750					
63	von obigen Dimensionen.	552	150	0.825	497	4.90	1.25		
			150	0.825					
64	3tes	552	150	0.750	537	5.00	1.20		
			150	0.750					
65		576	150	1.050	552	5.40	1.20		
			150	0.950					
	Durchschnittliches	556	150	0.831	501	5.00	1.225	131600	1127
66	Lärche	552	150	.831	500	4.8	1.2		
			150	.831					
67	von obigen Dimensionen.	581	150	.900	515	5 2	1.2		
			150	.864					
68	4tes	548	150	.762	515	5.0	1.2		
			150	.798					
	Durchschnittliches	560	150	.831	510	5.0	1.2	131600	1149
69	Sparren aus Norwegen	600	200	.800	667	4.0	1.35		
			200	.800					
70	von obigen Dimensionen.	600	200	.760	617	4.0	1.25		
			200	.740					
71		580	200	.840	680	4.0	1.30		
			200	.860					
	Durchschnittliches	577	200	.800	655	4.0	1.30	182200	1474

Aus der Gleichung (8) erhält man

$$k' = 3 \cdot \frac{2P \cdot l}{b h^2}$$

und wenn aus obiger I. Tabelle für jede Holzgattung die Werthe von b, h und $2l$ und die mittlere Grösse von $2P$ entnommen, und in diese Gleichung gesetzt werden, so erhält man die Werthe von k', welche von nächstfolgender II. Tabelle geliefert werden.

II. Tabelle.

Übersicht der mittleren Werthe von k' u. s. w. für die Holzgattungen der I. Tabelle.

Entsprechende Nummer der Versuche	Gattung und Dimensionen des Holzes	Mittleres spezifisches Gewicht	Mittleres grösstes Gewicht bei unveränderter Elastizität		Mittleres Brechungsgewicht $2P$	Äusserste Biegung	Tiefe der neutralen Axe unter der concaven Kante	Werth von k'
			Gewicht in Pfunden	Biegung in Zollen				
1, 2, 3	Teake-Holz $b = h = 2{,}2l = 84''$	745	300	1.151	938	4.32	1.2	14773
4, 5, 6	Poon-Holz von obigen Dimensionen	579	150	0.822	846	5.92	1.225	13324
7 bis 12	Englische Eiche von obigen Dimensionen	969	150	1.590	450	5.90	1.3	9185
		934	200	1.280	637	8.10	1.2	
13, 14, 15	Eiche aus Canada wie oben	872	225	1.080	673	6 00	1.125	10599
16, 17, 18	Eiche aus Danzig wie oben	756	200	1.590	560	4 86	1.2	8820
19, 20, 21	Adriatische Eiche wie oben	993	150	1.430	526	5.73	1.2	8284
22, 23, 24	Esche wie oben	760	225	1.266	772	8.92	1.3	12159
25, 26, 27	Buche wie oben	696	150	1.026	593	5.73	1.2	9339
28, 29, 30	Ulme wie oben	553	125	1.685	386	6.93	1.15	6079
31, 32, 33	Harztanne wie oben	660	150	1.134	622	6.00	1.2	9796
34, 35, 36	Rothtanne (Fichte) wie oben	657	150	0.775	511	5.83	1 26′/	8048
37, 38, 39	Föhre aus New-England wie oben	553	150	0.931	420	4.66	1.33	6615
40 bis 45	Föhre aus Riga wie oben	753	125	0.870	422	6.00	1.35	6475
	detto 6′ lang, 2″ im Gevierte	738	150	0.883	467	6.00	..	
46 bis 49	Föhre aus dem Walde v. Mar, 7′ lang, 2″ im Gevierte	696	125	1.442	436	6.00	1.3	6867
50 bis 55	Föhre aus dem Walde v. Mar, 6′ lang, 2″ im Gevierte	693	150	1.006	561	6.42	1.3	7573
		703	150	1.006	561	6.42	1.3	
56, 57, 58	Lärche 7′ lang, 2″ im Gevierte	531	125	1.885	325	8.58	..	5118
59 bis 68	Lärche 6′ lang, 2″ im Gevierte	522	125	0.812	370	5.00	..	6214
		556	150	0.831	501	5 00	1 225	
		560	150	0.831	510	5.0	1.2	
69, 70, 71	Sparren aus Norwegen 6′ lang, 2″ im Gevierte	577	200	0.800	655	4.0	1.30	8842

Die nächstfolgende III. Tabelle ist aus dem Werke von Barlow (Seite 114) entlehnt, und enthält einige Resultate aus den von Peak und Barallier über die relative Festigkeit einiger Holzgattungen gemachten Versuchen, wobei die Hölzer an einem Ende horizontal befestigt, an dem andern vom Befestigungspuncte 5 Fuss horizontal entfernten freien Ende durch ein vertikal wirkendes Gewicht belastet waren, und 2 Zoll im Gevierte hatten. Die letzte Rubrik liefert die Werthe von k' aus der Gleichung (7) abgeleitet, wo $k' = 6 \cdot \frac{P \cdot l}{b h^2}$

III. Tabelle.

Mittelwerthe von k' nach den durch Peak und Barallier für einige Holzgattungen angestellten Versuchen. (Vergl. Barlow, Seite 114.)

Nummern der Versuche	Gattung des Holzes.	Spezifisches Gewicht	Biegung in Zollen bei einer Belastung von		Biegung, welche die aufgehobene Belastung zurückgelassen hat	Maximum der Biegung vor dem Brechen	Belastung, welche das Brechen herbeiführte	Werthe von k'
			56 ℔	112 ℔				
					Zolle	Zolle	Pfunde	Pfunde
1 bis 7	Gelbe Tanne aus Virginia	558.857	4.071	4.148	0.375	11.410	175.875	7353.565
8 bis 15	Harztanne	777.750	2.092	3.734	0 203	9 625	256.000	11520.000
16 bis 22	Weisstanne aus Canada ..	678.000	4.250	1.517	0.232	14.053	108.857	4648.565
23 bis 26	Lärche	540.500	4.75	10.125	1.656	20.031	150.500	6772.500
27 bis 30	Föhre aus Danzig	648.000	2.531	5.125	0.313	9.187	157.500	7087.500
31 bis 33	Esche	782.000	2.666	5.041	0.500	15.625	217.333	4779.945
34, 35	Indianische Eiche	639.000	2.562	4.500	...	14.500	264.000	11880.000
	Föhre aus Riga	633.000					162.000	7290....

Weitere Werthe von k' liefert die IV. Tabelle, welche aus den Ergebnissen der von Tredgold und Ebbels *) angestellten Versuche über die respective Festigkeit einiger Holzgattungen entlehnt ist, wobei die Hölzer Einen Zoll im Gevierte hatten, an beiden Enden unterstützt, und in der Mitte belastet waren.

IV. Tabelle.

Werthe von k' nach den von Tredgold und Ebbels für einige Holzgattungen gelieferten Daten.

Gattung der Hölzer	Spezifisches Gewicht	Abstand zwischen den Unterstützungspunkten	Belastung die das Brechen verursachte	Biegung vor dem Brechen	Werthe von k'
		Fussen	Pfunden	Zollen	Pfunden
Platane	0.648	2.5	243	..	10935
Kastanie	0.875	2.5	180	..	8100
Akazie	0.820	2.5	249	..	11205
Italienische Pappel	0.374	2.5	131	..	5895
Weiss-Pappel	0.511	2.5	228	1.5	10060
Erle	0.555	2.5	212	..	9540
Weisstanne aus Norwegen	0.512	2.	343	0.937	12348
Weisstanne aus Amerika	0.465	2.	285	1.312	10260
Weisstanne aus England	0.555	2.5	186	..	8370

Die Endresultate der Werthe von k' und das Maass der relativen Festigkeit für die oben angeführten Holzgattungen sind in folgender Übersicht zusammengestellt.

---

*) Vergleiche Tredgold's Elementary principles of carpentry (Seite 44).

V. Tabelle.

Resultate aus dem Marine-Arsenal zu Woolwich nach Barlow *).

Bauholz-Gattungen		Specifisches Gewicht	Werth von k' für 1 □ Zoll in Pfunden	Maass der relativen Festigkeit für 1 □ Zoll in Pfunden
Benennung	Entsprechende Klassifizirung			
Teake (indianische Eiche)	.....	745	14773	2462
Esche.....	Fraxinus excelsior	760	12159	2026
Eiche aus Canada (weiss)	Quercus alba	872	10599	1766
Pechtanne (pitch pine).....	Pinus picea	661	9796	1632
Buche (roth).....	Fagus sylvatica	696	9339	1556
Eiche aus England	Quercus robur	956	9185	1530
Eiche aus Danzig	.....	756	8820	1470
Eiche (adriatisch)	Quercus aegilops	993	8284	1380
Rothtanne (Fichte).....	Pinus picea	657	8048	1341
Kiefer, Föhre aus Schottland	Pinus sylvestris	697	7220	1203
detto aus Neu-England ...	detto	553	6615	1102
detto aus Riga	.....	745	6475	1079
Ulme (glatt).....	Ulmus campestris	553	6079	1013
Lärche.....	Pinus larix	542	5666	944

Resultate nach Peak und Barallier **).

Teake (indianische Eiche)	.....	639	11880	1980
Pechtanne.....	Pinus picea	777	11520	1920
Esche.....	Fraxinus excelsior	782	9779	1629
Gelbe Tanne aus Virginia.....	.....	558	7353	1225
Lärche aus Danzig	Pinus larix	648	7087	1181
Lärche.....	detto	540	6772	1128
Weisstanne aus Canada	Pinus abies canadensis	678	4648	774

Resultate nach Tredgold und Ebbels ***).

Weisstanne aus Norwegen.....	Pinus abies	512	12348	2056
Akazie	Robinia, pseudo Acacia	820	11205	1867
Platane	Platanus	648	10935	1822
Weisstanne aus Nordamerica.....	Pinus abies occidentalis	465	10260	1710
Weisspappel.....	Populus alba	511	10060	1676
Erle	Betula alnus glutinosa	555	9540	1590
Weisstanne aus England	Pinus abies	555	8370	1395
Kastanie	Fagus castanea	875	8100	1350
Italienische Pappel	Populus italica	374	5895	982

*) **) Vergl. Barlow, wie oben.

***) Vergl. Tredgold, wie oben.

Die Gleichungen (6), (7), (8) u. s. w. beruhen auf der Annahme, dass die Widerstände sämmtlicher Fasern bis zum Eintritt des Brechens, immer wie ihre Ausdehnungen und Verkürzungen sich verhalten, ferner, dass die Lage der horizontalen Gleichgewichtsaxe, wo die neutralen Fasern sich befinden, bekannt ist, und dass dieselbe bei einem rechtwinklichen Querschnitte des tragenden Körpers, seine stehende Kante in zwei gleiche Theile theilt, d. i. $b' = \frac{h}{2}$.

Diese Annahme setzt die Ausdehnungen der Fasern an der konvexen Kante gleich den Verkürzungen der Fasern an der konkaven Kante voraus. Nun aber liegen in der I. Tabelle und in Barlows *) Werke überhaupt Resultate vor, welche zeigen, dass die neutrale Axe nicht in der Mitte der Höhe der stehenden Kante, sondern näher an der konvexen, als an der konkaven Seite, und zwar für Kiefernholz in dem Verhältniss wie 3 zu 5 sich befindet, so dass diese Axe auf $^3/_8$ der Höhe des Querschnittes über der äussersten konvexen Faser liegt.

Navier **) führt das Resultat eines von Duhammel angestellten Experimentes über die Ausmittlung der Lage der neutralen Axe an, welches die Beobachtungen von Barlow, dass nämlich die Fasern an der konkaven Seite sich mehr verkürzen, als sich die Fasern an der konvexen Seite ausdehnen, und dies zwar in einem solchen Verhältniss, dass die neutrale Axe im Anfange der Biegung in der Mitte der Höhe liegend, sich mit dem Zunehmen der Biegung selbst mehr und mehr an die konvexe Seite nähert, bis sie zuletzt beim Eintreten des Brechens die oben angegebene Lage einnimmt, bestätigt.

Auch bei den übrigen Holzgattungen ist die Lage der neutralen Faser nicht in der Mitte der Höhe, sondern im Durchschnitte ist sie für die Eiche auf $^2/_3$, für die Eschen auf $^6/_{13}$, für die Buchen auf $^1/_3$, für die Tannen auf $^5/_{13}$ und für die Lärchen auf $^{11}/_{30}$ der Höhe des Querschnittes über der konvexen Seite liegend beobachtet worden. (Vergleiche I. Tabelle.)

Wird die Höhe des Querschnittes des horizontal liegenden, durch seine relative Festigkeit wirkenden Holzes in zwanzig Theile getheilt, so verhält sich nach Barlow, in dem Augenblicke, als das Brechen eintritt, die Höhe der konkaven

---

*) Barlow. — A Treatise on the strenght of timber u. s. w. London, John Weale architectural library 59, High Holborn 1837, Seite 135 für die Kiefer, Seite 142 für die Esche, Seite 150 bis 155 für mehrere Holzgattungen.

**) Résumé des leçons données à l'école des ponts et chaussées sur l'application de la Mécanique etc. Bruxelles, Haumann et comp. 1839, Seite 80.

verkürzten, zu jener der konvexen ausgedehnten Fasern im Durchschnitte und runden Zahlen für Ulmen wie 11 : 9

„ Eichen, „ Tannen, „ Lärchen, „ Buchen wie 12 : 8

und für Kiefern wie 13 : 7

Gleichwohl kann man in Anbetracht dessen, dass bei den für eine lange Dauer berechneten Konstruktionen die Baumaterialien niemals der grössten Belastung ausgesetzt werden, sondern dieselben in ihrem Tragvermögen, nur so weit in Anspruch genommen werden, dass rücksichtlich des Holzes keine bleibende, oder in jedem Falle nur eine so geringe Biegung entsteht, bei welcher die Elastizität für immerwährend ungestört sich erhalte, annehmen; dass, bei jenem statischen Wirken, welches den Holzgliedern eines rechtwinklichen Querschnittes in den Bauten angewiesen wird, die Lage der neutralen Fasern, doch in der Mitte der Höhe des Querschnittes sich befindet, wie dies in obigen Gleichungen vorausgesetzt wurde.

Nun aber können die Werthe von k', möge den neutralen Fasern die Eine oder die Andere der oben untersuchten Lagen angewiesen werden, niemals mit dem Modul der absoluten Festigkeit vollkommen übereinstimmen, indem bei der absoluten Festigkeit sämmtliche Fasern durch ihre directe Cohäsion d. i. durch ihre Ausdehnbarkeit wirken; während bei der relativen Festigkeit, aus deren Resultaten erst die Werthe von k' vermittelst der Gleichungen (7) und (8) abgeleitet sind, nur die unter der neutralen Axe liegenden Fasern, durch ihre Ausdehnbarkeit wirken, von jenen aber, über dieser Axe befindlichen Fasern ihre Zusammendrückbarkeit in Anspruch genommen wird. Die Werthe von k' sind also für jede Holzgattung gleichsam ein Mittelding zwischen dem Koeffizienten der absoluten und jenem der rückwirkenden Festigkeit, und da nach den über diese letztere Kraft gemachten Versuchen der Widerstand der Holzfaser gegen das Zerdrücken *) etwa halb so gross ist, als Jener gegen das Zerreissen, so muss der Werth von k' immer geringer als der eigentliche Modul der absoluten Festigkeit ausfallen. Die aus dem Werke von Barlow **) entlehnten, in die nächstfolgende Tabelle aufgenommenen Resultate der Versuche über die absolute Festigkeit einiger Holzgattungen, verglichen mit der von der V. Tabelle für dieselben Holzgattungen gelieferten Werthe von k', mögen hiefür als Beweis dienen.

---

*) Vergleiche Navier. Seite 103.

**) Vergleiche Barlow. Seite 21, 22, 23.

Nummer der Versuche	Holzgattung	Spezifisches Gewicht	Umfang der zilindrischen Holzstäbe in Zollen	Mittleres Gewicht, das die Zerreissung verursachte in Pfunden	Modul der absoluten Festigkeit für 1 Quad. Zoll in Pfunden
1 bis 6	Kiefer (Föhre)	600	1.07	1190.6	12857
7 bis 12	detto	579.8	1.10	1112.	11549
13, 14, 15	Esche	605.3	0.8850	1073.3	17207
16, 17, 18	detto	600	0.8853	995.6	16947
19, 20, 21	Buche	702	0.890	722.6	11467
22, 23, 24	Eiche.....	770	1.10	883.3	9198
25, 26, 27	detto	920	0.8816	716.6	11580
28, 29, 30	Indianische Eiche	860	0.8625	893.3	15090
31, 32, 33	Buxbaum.....	981.3	0.8625	1176.	19891
34, 35, 36	Birne	646	0.8583	576.	9822
37, 38, 39	Mahagony.....	637	1.1125	792	8041

Galilei hat in seiner Theorie über die relative Festigkeit der Körper, dieselben als unbiegsam angenommen, und die Hypothese aufgestellt, dass für sämmtliche Punkte der Brechungsfläche der Widerstand der Faser konstant sei, und dass die horizontale Gleichgewichtsaxe an dem tiefsten Punkt der Brechungsfläche selbst sich befinde, so dass bei Balken eines rechtwinklichen Querschnittes und bei obigen Bezeichnungen, das Brechungsmoment statt durch die Gleichung (7) durch die Gleichung

$$M' = k' \cdot \frac{bh^2}{2}$$

ausgedrückt wäre *).

Leibnitz hat der horizontalen Gleichgewichtsaxe dieselbe Lage, wie bei der Galilei'schen Theorie angewiesen, dabei aber die Körper als biegsam, jedoch nicht zusammendrückbar, sondern die Fasern durchaus nur ausdehnbar, und erst die unterste oder die oberste Faser, je nachdem der Balken an einem Ende befestiget,

*) Vergl. Barlow Seite 51 u. s. w. Navier Seite 85, Eytelwein Seite 228.

an dem andern frei, oder an beiden Enden unterstützt ist, als die neutrale Faser unveränderter Länge betrachtet und angenommen, dass der Widerstand an jedem Punkte der Brechungsfläche seiner Entfernung von dieser neutralen Faser, d. i. von der horizontalen Gleichgewichtsaxe proporzional sei. Bei dieser Annahme ist das Brechungsmoment durch die Gleichung

$$M = k' \frac{b h^2}{3}$$ dargestellt *).

Durch die Hypothese, dass die horizontale Drehungsaxe an der untern oder an der obern Kante der Brechungsfläche sich befinde, fielen nach der Theorie des Leibnitz, und noch mehr nach jener des Galilei, die Brechungsmomente zu gross aus. Navier hat diese beiden Theorien blos angeführt, Barlow hat sie aber auch erörtert, und an ihre Stelle eine andere Theorie über die relative Festigkeit der Körper aufgestellt, die in den Hauptresultaten mit der Theorie des Navier und anderer Schriftsteller übereinstimmt. Ich habe die in dieser Schrift aufgestellten Rechnungssätze blos deshalb aus der Theorie des Navier entlehnt, weil diese sich, wenn auch in allgemeiner Form, doch auf die meisten bei Constructionen vorkommenden Fälle ausdehnt, und auch im Übrigen sehr vollständig entwickelt ist. Auch gewährt diese Theorie für den praktischen Gebrauch eine richtige Anwendung, wenn man anders, so wie er selbst einrathet, das Verfahren beobachtet, den Werth von k' aus den Resultaten der Versuche über die relative Festigkeit abzuleiten, oder eigentlich für $\frac{k'}{6}$ den Werth des Brechungs-Coefficienten der relativen Festigkeit zu setzen, da, wie oben bemerkt, dieses Verfahren für die Berechnung des Brechungsmomentes der Wahrheit am nächsten kömmt.

Welcher Bruchtheil des Werthes von k' für den praktischen Gebrauch der Gleichung (11) in dieselbe gesetzt werden soll, damit die Brücke die Belastung, für welche sie berechnet ist, mit Sicherheit tragen kann, wird weiter unten besprochen werden.

Die Gleichung (11) gilt für den Fall, als der Träger nur an seinen beiden Enden unterstützt, zwischen denselben aber ganz frei ist, d. i. wenn die Brücke eine einzige Öffnung hat. Allein im vorliegenden Falle bestehet die Brücke aus mehreren Öffnungen, und ihre Construction ist der Art, dass der Träger (Tafel II. Fig. 2 u. 3), welcher nach Obigem (Vergl. Seite 12, 17 u. 18) als ein ununterbrochener, von einem Brückenkopfe zum andern gestreckter Balken zu betrachten ist, zwischen seinen Enden eben so viele Unterstützungen als die Brücke Mittelpfeiler hat. Tafel II. Fig. 2 u. 3.

---

*) Vergl. Barlow Seite 56 u. s. w., Navier Seite 86, Eytelwein Seite 236, 244.

Dieser Umstand ändert die Bedingungen des Gleichgewichtes, sei es, dass nur Eine oder mehrere Öffnungen zugleich belastet sind. Da aber der letzte auch der ungünstigste Fall ist, so wollen wir das Gleichgewicht für diesen, vorerst aber für den Fall untersuchen, als die Brücke nur zwei Öffnungen hätte, in der Mitte *b*, *b* derselben eine solche Belastung $2P$, $2P'$ angebracht wäre, die mit dem Tragvermögen der Brückenträger im Gleichgewichte stände. In dieser Voraussetzung wird der zweite Mittelpfeiler als ein Landpfeiler angesehen. Es bezeichne:

$2l$ die lichte Weite *aa* jeder Brückenöffnung,

s, s'' den Druck auf den Landpfeilern und s' auf dem Mittelpfeiler,

w, den Winkel, welchen bei der convexen Biegung des Trägers an den Punkten *a*, *a*, die Tangenten an diesem Punkte mit der durch *a*, *a* u. s. w. gehenden horizontalen Linie, die man für die Axe der Abscissen annehmen kann, bildet,

M das Biegungsmoment, und

M' das Brechungsmoment.

Nach einem allgemeinen Gesetze der Statik muss man annehmen, dass das Gesammte der Belastungen $2P$, $2P'$ dem gesammten Drucke auf den Unterstützungspunkten, d. i. auf den Pfeilern, gleich sei; ferner, dass die Summe der Momente der aus den Belastungen sich entwickelnden Kräfte, auf einen beliebigen Punkt bezogen, gleich Null sei. Denkt man sich jeden Mittelpfeiler in Einer durch *a* und durch seinen Schwerpunkt gehenden, dem Längenschnitte der Brücke senkrecht geführten Ebene concentrirt, und nimmt man den Auflager- oder Unterstützungspunkt der Träger auf dem ersten Mittelpfeiler, d. i. in der vertikalen Richtung des Punktes *a* befindlich, als jenen Punkt an, auf welchen die Momente der gedachten Kräfte bezogen werden, so hat man zuerst die zwei Gleichungen:

$$2P + 2P' = s + s' + s'' \quad \text{(A)}$$
$$2P' - 2P = 2\,(s'' - s) \quad \text{(B)}.$$

Ich habe wiederholt erwähnt, dass die Constructionsart der Träger der Art ist, dass nicht nur der Träger von einem Landpfeiler zum andern durchgehends einen ununterbrochenen Balken bildet, sondern auch (vergl. Seite 15), dass der Träger selbst auf jedem Pfeiler aus einem Rahmen *a* bestehet, welcher die beiden an einander stossenden Trägerabtheilungen *ab*, *ab*, der Art befestiget, dass obige Bedingung am vollkommensten erfüllt ist.

Dies berechtiget, hinsichtlich der Verhältnisse des Gleichgewichtes der an den Mittelpfeiler stossenden Hälfte *ab*, *ab* zu jenen die von dem Landpfeiler ausgehen, zu der Annahme, dass der Träger auf den Landpfeilern blos aufliegt, auf den Mit-

telpfeilern aber gleichsam befestiget ist. Bei dieser Voraussetzung hat man für die rechtseitige Hälfte ab der ersten Brückenöffnung die Gleichung

$$M\frac{d^2y}{dx^2} = 2P'(l-x) - s''(2l-x),$$

$$M\frac{dy}{dx} = 2P'\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) - s''\left(2lx - \frac{x^2}{2}\right) + M\ tang.\ w.$$

$$My = 2P'\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) - s''\left(lx^2 - \frac{x^3}{6}\right) + xM\ tang.\ w. \quad (12)$$

Für die andere Hälfte derselben Brückenöffnung wird man ferner bei der Annahme, dass für $x-l$ die Werthe von $\frac{dy}{dx}$ und von y jenen gleich sind, welche aus obigen Gleichungen abgeleitet werden, folgende Gleichung erhalten:

$$M\frac{d^2y}{dx^2} = -s''(2l-x),$$

$$M\,.\,\frac{dy}{dx} = -s''\left(2lx - \frac{x^2}{2}\right) + 2P'\frac{r}{2} + M\ tang.\ w,$$

$$My = -s''\left(lx^2 - \frac{x^3}{6}\right) + \left(2P'\frac{r}{2} + M\ tang.\ w\right)x - \frac{2P'l^3}{6}\ (13).$$

Man würde nach demselben Verfahren auch die Gleichungen für die beiden Hälften des Trägers der Brückenöffnung zunächst dem linkseitigen Landpfeiler erhalten. Diese Gleichungen können daher aus den vorhergehenden gefolgert werden, wenn anstatt $2P'$, $2P$; und anstatt s'', s gesetzt wird; nur müsste hierbei das Glied $x\,M\ tang.\ w$ anstatt $+$, $-$ erhalten.

Die Gleichungen (12) und (13) verwandeln sich also in Folgende:

$$My = 2P\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) - s\left(lx^2 - \frac{x^3}{6}\right) - x\ M\ tang.\ w\ (14)$$

und $$My = -s\left(lx^2 - \frac{x^3}{6}\right) + \left(2P\frac{r}{2} - M\ tang.\ w\right)x - \frac{2Pl}{6}\ (15).$$

Die Gleichungen (13) und (15) gehören den zwei Hälften der Träger, die unmittelbar an die zwei Landpfeiler anstossen, und da die Abscissen x vom Mittelpfeiler aus gegen die Landpfeiler hin gerechnet werden, so müssen diese Gleichungen, wenn $x = 2l$ wird, für den Werth von y Null geben, so dass in diesem Falle diese zwei Gleichungen sich in folgende verwandeln:

$$o = 2P'\frac{5r}{12} + M\ tang.\ w - s''\frac{4r}{3}$$

$$o = 2P\frac{5r}{12} - M\ tang.\ w - s\frac{4r}{3}.$$

Diese Gleichungen geben:

$$tang.\ w = \frac{2P' - 2P}{M'}\frac{r}{8}\ (16).$$

Aus derselben und aus den Gleichungen (A) und (B) werden folgende Werthe von s, s' und s'' entnommen.

$$s = \frac{13.\ 2P - 3.\ 2P'}{32} \qquad (17)$$

$$s' = \frac{22}{32}.\ (2P' + 2P) \quad (18)$$

$$s'' = \frac{13.\ 2P' - 3.\ 2P}{32} \qquad (19).$$

Die Punkte a, b und b sind zunächst dem Brechen ausgesetzt, und da für diese Punkte x beziehungsweise den Werth von o, $\frac{2l}{2}$ und $\frac{2l}{2}$ hat, so hat man für dieselben aus obigen Gleichungen folgende, und zwar für den Punkt a:

$$M\frac{d^2y}{dx^2} = 2P'.\ l - s''.\ 2l,$$

für den Punkt b der rechtseitigen Öffnung:

$$M\frac{d^2y}{dx^2} = -\ s''\ l,$$

und für den Punkt b der linkseitigen Öffnung:

$$M\frac{d^2y}{dx^5} = -\ s\ l;$$

und wenn für s'' und s ihre Werthe aus den Gleichungen (17) und (19) gesetzt werden, und für den Werth von $M\frac{d^2y}{dx^2}$, welcher zur Brechungsstelle gehört, das Brechungsmoment M' genommen wird *), so erhält man für obige drei Punkte beziehungsweise folgende Gleichungen:

$$M' = \frac{l}{16}\ (3.\ 2P' + 3.\ 2P) \qquad (20),$$

$$M' = \frac{l}{32}\ (13.\ 2P' - 3.\ 2P) \quad (21) \text{ und}$$

$$M' = \frac{l}{32}\ (13.\ 2P - 3.\ 2P') \quad (22).$$

Aus diesen und aus den Gleichungen (17), (18) und (19) werden nachstehende Sätze gefolgert:

1. Der Druck auf die Unterstützungspunkte, oder der verticale Druck, welchem die Pfeiler der Brücke unterworfen sind, ist von dem Biegungsmomente gänzlich unabhängig.

2. Der Mittelpfeiler trägt allein nahe an zwei Drittheile der gesammten Belastung, welcher der ganze Träger, d. i. die ganze Brückenbahn, ausgesetzt ist.

Wenn daher das Gleichgewicht nicht gestört sein soll, so müssen die Mittelpfeiler eine verhältnissmässig grössere rückwirkende Festigkeit besitzen, als es bei den zwei Landpfeilern nöthig ist. Dasselbe gilt für das Fundament.

---

*) Vergl. Navier, Seite 185.

3. Unter den Gleichungen (20), (21) und (22) enthält jene die erforderlichen Bedingungen des Widerstandes gegen das Brechen, an welcher der Werth des zweiten Gliedes am grössten ist.

4. Wenn die Mitte jeder Öffnung gleich belastet, wenn nämlich $2P = 2P'$ ist, so ist *tang. w* gleich Null; dann

$$s = s'' = \frac{5}{16} \cdot 2P \quad (23)$$

$$s' = \frac{22}{16} \cdot 2P \quad (24).$$

5. Bei derselben Voraussetzung werden die drei Gleichungen (20), (21) und (22) durch die zwei folgenden ersetzt:

für den Punkt *a*

$$M' = \frac{6 \cdot 2P}{32} \cdot 2l \quad (25)$$

für die Punkte *b*, *b*

$$M' = \frac{5 \cdot 2P}{32} \cdot 2l \quad (26),$$

woraus erhellt, dass der schwächste Punkt des Brückenträgers an seinem Auflager auf dem Mittelpfeiler sich befindet, so dass wenn das Gleichgewicht durch eine zu grosse Belastung aufgehoben würde, die Brücke zuerst in der vertikalen Linie des Punktes *a* brechen müsste.

6. Wird nun in die Gleichung (25) für M der Werth der Gleichung (7) gesetzt, so erhält man $2P = \frac{4}{3} \cdot \frac{k' b h^2}{3l}$ (27).

Vergleiche man die Gleichung (27) mit der Gleichung (8), so zeigt sich, dass bei einer Brücke mit zwei Öffnungen jede Öffnung mehr zu tragen vermag, als wenn unter übrigens gleichen Umständen die Brücke eine einzige Öffnung hätte, und zwar in dem Verhältnisse wie 4 zu 3.

Die Gleichungen (23), (24), (25), (26) und (27) gelten für Brücken, die nur zwei gleiche Öffnungen haben. Für Brücken mit mehr als zwei Öffnungen ist das Verfahren zur Ausmittelung der Bedingungen des Gleichgewichtes ein ähnliches. Werden nun die Öffnungen unter einander gleich angenommen, ihre lichte Weite mit 2, der vertikale Druck auf den Landpfeilern mit s, jener auf dem Mittelpfeiler mit s', die für jede Öffnung gleiche Belastung mit $2P$ bezeichnet, so würde man bei einem ähnlichen Verfahren aus der Entwicklung der Gleichungen der vertikalen Kräfte und der Biegungsmomente folgende Resultate erhalten *):

---

*) Vergl. Navier, Seite 260.

$$s = \frac{7}{20} \cdot 2P \quad (28)$$

$$s' = \frac{23}{20} \cdot 2P \quad (29)$$

für die Mitte b, b, der zwei Öffnungen zunächst der Landpfeiler

$$M' = \frac{7}{20} \cdot 2P \cdot l \quad (30)$$

für die Auflager $a\,a$ auf den Mittelpfeilern

$$M' = -\frac{6}{20} \cdot 2P \cdot l \quad (31)$$

und für die Mitte sämmtlicher Öffnungen zwischen den Mittelpfeilern

$$M' = \frac{4}{20} \cdot 2P \cdot l \quad (32).$$

Hieraus folgert, dass bei einer Brücke mit mehr als zwei unter einander gleichen Öffnungen die mittleren die stärksten, die zwei zunächst an den Landpfeilern die schwächsten sind, ferner, dass die Belastung in der Mitte jeder Öffnung von oben nach unten, an den Auflagerstellen auf den Mittelpfeilern aber von unten nach oben wirkt, und endlich dass der vertikale Druck auf den Land- und Mittelpfeilern sich wie 7 zu 23 verhält *).

Setzt man in die Gleichungen (30) und (31) für M' den Werth aus der Gleichung (7), so erhält man

$$2P = \frac{10}{7} \cdot \frac{k' b h^2}{3 l} \quad (33)$$

$$2P = \frac{10}{4} \cdot \frac{k' b h^2}{3 l} \quad (34).$$

Bei einem Vergleiche der Gleichungen (8), (27), (33) und (34) unter sich findet man, dass bei unter einander gleichen lichten Weiten, und bei übrigens gleichen Umständen das Tragvermögen bei Brücken mit einer einzigen Öffnung am kleinsten ist, dann kommen nach der Aufeinanderfolge die Brücken mit zwei Öffnungen, dann jene mit mehr als zwei Öffnungen, bei diesen aber zuerst die Öffnungen, welche an die Landpfeiler anstossen, und zuletzt die mittleren Öffnungen an die Reihe, für welch' letztere das Tragvermögen konstant und am grössten ist.

---

*) In der »*Description of Col. G. H. Long's bridges, together with a series of directions to bridge builders*« *Philadelphia: printed by W. F. Geddes Nr.* 112. *Chesnut-Street* 1841, unterscheidet der Verfasser, Oberst Long, die Wirkung des Widerstandes bei Brücken mit einer einzigen Öffnung von jener des Widerstandes bei Brücken mit mehreren Öffnungen, indem er Erstere *single action*, Letztere *double action* nennt. Ich komme weiter unten auf diesen Gegenstand zurück.

Dieselbe Ordnung bei der Aufeinanderfolge obiger Gleichungen (8), (27) und (33) beibehaltend, verhalten sich die relativen Festigkeiten der Brückenträger für die so eben erwähnten Brückenöffnungen unter einander, wie die Zahlen in nachstehender Folgenreihe:

$$6 : 8 : 8\tfrac{4}{7}.$$

Um diese Gleichungen für das Gitterwerk der Brückenträger der Howe'schen Construction anwendbar zu machen, muss man für M' den Werth aus der Gleichung (11), d. i. in die Gleichungen (8), (27) und (33) statt bh^2 den Ausdruck $b\left[6h'\ (h-2h') + \frac{8h'^3}{h}\right]$ setzen; man erhält:

für Brücken mit einer einzigen Öffnung

$$2P = \frac{k'}{3l} \cdot b\left[6h'\ (h-2h') + \frac{8h'^3}{h}\right] \quad (35)$$

für Brücken mit zwei gleichen Öffnungen

$$2P = \frac{k'}{3l} \cdot \frac{4}{3} b\left[6h'\ (h-2h') + \frac{8h'^3}{h}\right] \quad (36)$$

für Brücken mit mehr als zwei gleichen Öffnungen

$$2P = \frac{k'}{3l} \cdot \frac{10}{7} b\left[6h'\ (h-2h') + 8h'^3\right] \quad (37).$$

Bei der Howe's Brücke über den Connecticut-Fluss in Massachusets, wovon hier zunächst die Rede ist, hat man:

$2l = 2160$ Zoll, $l = 1080$ Zoll,

$b = 8$ Zoll; $3b$, weil die untern und obern Zangenhölzer dreifach sind, $= 24$ Zoll,

$h = 216$ Zoll,

$h' = 10$ Zoll.

Wenn die Substituirung vorgenommen wird, so ergeben sich beziehungsweise für Brücken mit einer einzigen Öffnung, für Brücken mit zwei Öffnungen, und für Brücken mit mehr als zwei Öffnungen folgende Werthe jener Belastung, die in der Mitte angebracht, mit dem Tragvermögen der Brücke im Gleichgewichte stehet:

$$(35)_a\ 2P = \frac{k'}{3l} \cdot 24 \times 11797 = 43 \cdot 84 \cdot k'$$

$$(36)_a\ 2P = \frac{k'}{3l} \cdot \frac{4}{3} \times 24 \times 11797 = 58 \cdot 79\ k'$$

$$(37)_a\ 2P = \frac{k'}{3l} \cdot \frac{10}{7} \times 24 \times 11797 = 62 \cdot 63\ k'.$$

Diese Gleichungen liefern den Werth von $2P$ für die Belastung, welcher jenem Maximum des Widerstandes entspricht, dessen die Träger fähig sind. Allein bei Constructionen werden die Baumaterialien diesem Zustande, bei welchem im ersten Augenblicke des Hinzukommens einer auch nur unendlich kleinen Zufälligkeit

das Brechen des Trägers herbeigeführt wird, nicht ausgesetzt; sondern es muss zwischen der Last, womit der Träger beschwert wird, und jener Belastung, wodurch der Bruch erfolgt, ein solcher Abstand beobachtet werden, bei welchem die Elastizität des Holzes für die Dauer unverändert bleibt, und auch noch jeder Abnützung durch den immerwährenden Gebrauch begegnet ist.

Welcher Bruchtheil des Coeffizienten k', beim praktischen Gebrauche der letzten Gleichungen, für k' selbst zu setzen sei, um hiernach jene Grenze des Maximums der Belastung genau zu bestimmen, welche ein hölzerner Balken für die Dauer mit Sicherheit tragen kann, ist eine schwierige Aufgabe, da hiefür die Theorie keinen Anhaltspunkt, und die Erfahrung selbst Resultate liefert, die nicht für alle Orte, noch für jede Gattung des Holzes, und noch für jede Art der Benützung anwendbar sein dürften. Auch sind hierüber die Ansichten der Schriftsteller unter einander sehr verschieden.

Tredgold nimmt an *), dass die Fasern des Eichenholzes in der Richtung der absoluten Festigkeit einer Belastung von 3960 ℔, der gelben Fichte von 3900 ℔, der Lärche von 2065 ℔ und der Föhre von 4290 ℔ pr. Quadratzoll ausgesetzt werden können, ohne eine bleibende Veränderung der Elastizität des Holzes zu befürchten.

Dies gibt ungefähr den Drittheil des Moduls der absoluten Festigkeit, d. i. $\frac{1}{3}$ der Belastung, die das Brechen herbeiführt.

Nach Barlow **) hätte bei der praktischen Construction das Maximum der Belastung $\frac{1}{4}$ des Brechungsgewichtes nicht zu überschreiten. In den Formeln wäre also an die Stelle von k', $\frac{k'}{4}$ zu setzen.

Navier beruft sich auf die bewährte Standhaftigkeit bestehender Bauobjekte, und glaubt, für die praktische Anwendung erst $\frac{1}{10}$ jener Belastung anzunehmen, die nach obigen Gleichungen das Brechen verursachen würde. Bei dieser Annahme würde die Biegung in der Mitte des Trägers etwa $\frac{1}{1000}$ seiner Länge nicht überschreiten ***).

---

*) *Tredgold Pratical Essay on the strenght of cast iron and other metals ec. ec. the fourth edition ec. ec. London John Weale*, 59. *High Hollborn* 1842. Seite 285, 287 und 288.

**) *In pratice, the load ought not to be greater than »one fourth« of the weight found by the rule; for permanent stretching or displacement of the fibres begins to take place as soon as the load exceeds a bout »one fourth« of the breaking weight. This will be perceived by comparing the weights which, the specimus bore without loss of elasticity with the weights, that broke, them in the Tabla of Data.* Vergl. Seite 176, 177.

***) Vergl. Seite 104, 105.

Gerstner, gestützt auf die Erfahrung, über eine hölzerne Brücke, deren jeder 24 Fuss lange, 12 Zoll hohe und 12 Zoll Wiener Mass breite Ensbaum in seiner Mitte 4677 Wiener Pfunde bei bewährter Sicherheit getragen hat, wobei die Einsenkung oder Biegung in der Mitte nach seiner Formel $\frac{1}{288}$ der Länge betragen soll, glaubt, dass, um die Elastizität für die Dauer vollkommen zu erhalten, die Träger überhaupt keiner grösseren Biegung als $\frac{1}{288}$ ihrer Länge ausgesetzt werden dürfen *). Bei dieser Annahme würden die Holzfasern bei Eichen, Buchen, Fichten und Tannen erst einem Acht- bis einem Sechstheil jener Anstrengung ausgesetzt werden, die in dem ersten Augenblicke den Bruch herbeizuführen vermöchte. Nach Gerstner wäre also für den praktischen Gebrauch der Formeln für k', $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{6}$ k' anzunehmen.

Aus Beobachtungen, die Eytelwein auf einem ähnlichen Wege anzustellen bemüht war, glaubte er sich zu der Aufstellung des Satzes berechtiget, dass einem Balken noch mit der grössten Sicherheit erst $\frac{1}{20}$ derjenigen Belastung zugetraut werden könne, welche, obiger Theorie zu Folge, das Brechen desselben verursachen würde, indem er fand, dass die Balken eines Getreidemagazins bei derlei Anstrengung sich bewährt hätten.

Unter allen diesen Annahmen weichen jene von Tredgold und Eytelwein am meisten, und zwar in dem Abstande von $\frac{1}{3}$ zu $\frac{1}{20}$ von einander ab. Ersterer scheint die Region der Kühnheit zu berühren, Letzterer jedenfalls die entgegengesetzte Grenze zu überschreiten. Zwischen diesen zwei Extremen dürfte ein Mittleres die Anforderungen der Ökonomie und der Sicherheit in sich vereinigen.

Die Beobachtungen über die Biegungen von horizontal liegenden, in der Mitte belasteten hölzernen Balken zeigen, und alle Schriftsteller stimmen in der Ansicht überein, dass der Zustand und die Wirkungen der vollkommenen Elastizität der Holzfasern bis zu einer Grenze zwischen $\frac{1}{3}$ und der Hälfte derjenigen Belastung fast unverändert bleibt, bei welcher das Zerbrechen erfolgen würde. Eine Überschreitung dieser Grenze bringt grössere und ungleiche Einsenkungen des Balkens mit sich, die nicht mehr den Gesetzen der vollkommenen Elastizität gemäss sind; und in diesem Zustande unterliegen die Holzfasern einer Überspannung in ihrer Anstrengung, die mit der Vermehrung der Belastung zunimmt und endlich den Bruch herbeiführt.

Allein der Zustand einer überspannten Anstrengung kann, wenn auch nur allmälig und in einer entfernten Zukunft, selbst durch die Fortdauer einer geringeren Belastung, selbst wenn diese Belastung obige Grenze nicht überschreitet, eintreten; weil hierdurch eine immerwährend verweilende Biegung entsteht, die nach Verhält-

---

*) Gerstner. Handbuch der Mechanik. Prag, 1831. Vergl. Seite 313 — 346.

niss der Zeit immer grösser wird, und durch die gewohnte Verrückung der Holzfasern endlich die vollkommen elastische Reaction überwindet. Diess im Vereine mit den bei Brücken insbesondere hinzukommenden Einflüssen des Wechsels der Witterung, und der Erschütterungen erzeugt zuletzt eine Störung in dem inneren Gewebe der Holzfasern, die sich immer mehr zum Bruch neigt.

Es darf daher bei Bestimmung des Verhältnisses zwischen dem gesammten Tragungsvermögen und der Normalbelastung nicht nur obige Grenze von $\frac{1}{3}$ des Brechungsgewichtes nicht erreicht, sondern es muss auch innerhalb dieser Grenze ein gewisser Abstand beobachtet werden, bei welchem den so eben erwähnten nachtheiligen Wirkungen für die Dauer begegnet werde. Hierzu dürften die Annahmen von Barlow und Gerstner der Wahrheit am nächsten kommen. Barlow, gestützt auf seine vielfältigen Beobachtungen, gestattet eine wirkliche beschwerende Last bis zu $\frac{1}{4}$ des Brechungsgewichtes anzunehmen, weil erst nach Überschreitung dieser Grenze eine bleibende Überspannung der Fasern in dem Maasse eintritt, wie die Belastung zunimmt; Gerstner, auf Grundlage der sich bewährten Biegung von $\frac{1}{288}$ hin, nimmt zum praktischen Gebrauche für Nadelhölzer die wirkliche Belastung zu $\frac{1}{6}$ des Brechungsgewichtes an. Das Mittlere unter diesen zwei Bruchtheilen ist $\frac{5}{24}$, oder $\frac{1}{5}$ derjenigen Belastung, welche nach obiger Gleichung der relativen Festigkeit der Balken das Gleichgewicht hält, das ich für den praktischen Gebrauch, als eine volle Beruhigung gewährend anzunehmen erachte; zumal im vorliegenden Falle noch die Breite der Pfeiler, die Sattelhölzer *u*, *u*, u. s. w. (Fig. 4), die Streben *l*, *l*, *l*, u. s. w. zu Gunsten des Tragvermögens hinzukommen, da durch diese Unterstützung gleichsam eine Annäherung der Pfeiler an einander bewirkt, somit der Werth von $2l$ geringer ist; ferner, weil die Verspannung der Träger über die horizontale Lage *) dem Bestreben der Träger zum Biegen unter die horizontale Lage entgegenwirkt, endlich weil von der Belastung, für welche die Brücke berechnet ist, nur die Brücke selbst mit ihrem eigenen Gewichte eine bleibende Last bildet, das Übrige aber nur zufällige Belastung ist.

Zu den Streckbalken oder Zangenhölzern *aaa* der Brücke über den Connecticut-Fluss wurde nordamerikanisches weisses Tannenholz *(white pine timber — Pinus abies occidentalis)* verwendet, eine Holzgattung, welche unter den Nadelhölzern in Nordamerika in einem ähnlichen Grade für vorzüglich gehalten wird, wie auf unserm Continente das gute rothe Lärchenholz. Für die nordamerikanische weis-

---

*) Vergl. Seite 16.

se Tanne ist der Werth von k' aus der V. Tabelle, Seite 37, 10,260 ℔, folglich $\frac{1}{5} k' = 2052$ ℔.

Wird in die Gleichung $(37)_a$ für k' dieser Werth substituirt, so erhält man

für einen Träger $2P = 128516 . 76$ ℔

und für beide Brückenträger $2P = 257033 . 5$ ℔

als jene gesammte Belastung, welche den Tragwänden der Brücke in der Mitte des Brückenfeldes zunächst der Landpfeiler *) mit vollkommener Sicherheit anvertraut werden kann.

Die gesammte Belastung einer Brückenöffnung besteht aus ihrem eigenen Gewicht und aus der zufälligen Last, womit die Brücke bei deren Benützung beschwert wird.

Wenn daher mit p' das Erstere und p die Letztere bezeichnet wird, und beide als auf der Brücke gleichmässig vertheilt angenommen werden, so hat man (Seite 25, 26, Gleichungen (8), (9) und (10):

$$\frac{p' + p}{2} = 2P,$$

$$\text{und } \frac{p}{2} = 2P - \frac{p'}{2}.$$

Die bleibende Belastung ergibt sich aus Folgendem:

An Holz für sämmtliche Zangenhölzer	1200	Kubikfuss
„ Kreuzstreben	1359	„
„ Windstreben	446	„
„ Querschwellen	570	„
„ Bruckstreubedielung	720	„
An Tannenholz im Ganzen	4295	Kubikfuss
zu 29.3 ℔ pr. Kubikfuss	125843.5	℔
„ Eichenholz für die Streuhölzer 100 Kubikfuss zu 52 ℔	5200..	„
„ Hängschrauben 42 Kubikfuss zu 475 ℔	19950..	„
„ Bolzen	2700..	„
Gesammtes	153693.5	℔

Mithin ist die beständige Belastung eines Brückenfeldes

$$p = 153693 . 5 \text{ ℔}.$$

*) Wir haben oben aus dem Vergleiche zwischen den Gleichungen (30), (31) gesehen, dass bei gleichen lichten Weiten der Brückenöffnungen die Brückenfelder zwischen den Mittelpfeilern eine grössere relative Festigkeit besitzen, als es bei den zwei Brückenfeldern zunächst der Landpfeiler der Fall ist, in dem Verhältnisse, wie 7 : 4.

Als Maximum der zufälligen Belastung wird jene Last angenommen, womit die Brücke beschwert wird, wenn das ganze Brückenfeld zugleich durch Menschengedränge besetzt ist.

In diesem Falle entfällt auf den Quadratfuss 95 ℔ Last, und da das Brückenfeld bei der Länge von 180, die Breite von 16 Fuss, das Flächenmass 2880 Quadratfuss hat, so beträgt die auf einem ganzen Brückenfeld gleichmässig vertheilte zufällige Belastung 273600 ℔, mithin

$$p = 273600 \text{ und}$$

$$2P = \frac{153693.5 + 273600}{2} = 213647,$$

ein Resultat, welches noch beiläufig um $\frac{1}{6}$ geringer als jenes ist, welches oben aufgefunden wurde.

Wird der Werth von $\frac{1}{5} k'$ an die Stelle von k' auch in die Gleichungen $(35)_a$ $(36)_a$ gesetzt, so hat man für eine Brücke mit einer einzigen Öffnung für beide Brückenträger zusammen:

$$2P = 179919 . 36 \text{ ℔},$$

und für eine Brücke mit nur zwei Öffnungen, jede zu 180 Fuss, würde also das Tragungsvermögen nach den Anforderungen der Sicherheit vollkommen entsprechen; für Brücken aber mit einer einzigen lichten Weite von ebenfalls 180 Fuss würde die gesammte Belastung nicht mehr in dem beabsichtigten Verhältnisse vom Bruche entfernt sein.

Wenn das Tragungsvermögen der einzelnen oberen und unteren Zangenhölzer a, a, a, für den Fall berechnet wird, als dieselben ohne alle Verbindung der Kreuzstreben und Schrauben lägen, jedoch zusammenwirkten, so erhält man aus der Gleichung (8), wenn für k', $\frac{1}{5} k = 2052$ substituirt wird, für einen Träger bestehend aus den zwei dreifachen Balken $3bh'$ (Vergl. Seite 19)

$$2v = 2 \times 3 \times \frac{2052}{3l} . bh'^2$$

$$\text{oder } 2v = 6 \times \frac{2052}{3 \times 1080} \times 800 = 3040;$$

wenn daher in dem Ausdruck $V - 2v$ (Seite 19) für V sein Werth

$$\frac{2P}{2} = \frac{257033.5}{2} \text{ oder}$$

$P = 128516.75$, für v sein Werth 3040 gesetzt, und mit v' die auf jede Hängschraube entfallende Belastung bezeichnet wird, so hat man für die Eine Hälfte eines Trägers, auf welcher die Belastungen V und $2v$ als gleichmässig vertheilt angenommen werden kann, und $12 \times 2 + 1 = 25$ Hängschrauben entfallen

$$25 . v = 128516 . 75 - 3040 = 125,476 . 75 \text{ mithin } v' = 5019 . 07$$

Professor Barlow *) gibt aus einer Reihe von eigenen, und von Telford, Brown, Rennie u. A. angestellten Versuchen über die absolute Festigkeit, directe Cohäsion des Eisens, die Belastung zum Zerreissen im Durchschnitte zu 25 Tonnen oder 56000 ℔, und die Belastung, bei welcher erst die Elastizität des Eisens angegriffen wird, zu 10 Tonnen oder 22400 ℔ pr. Quadratzoll an. Tredgold **) nimmt das Verhältniss zwischen diesen zwei Belastungen wie 60,000 : 17,800, und das Maximum der in Anspruch zu nehmenden absoluten Festigkeit des Eisens für den praktischen Gebrauch zu $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ des Brechungsgewichtes, also zu 15000 ℔ pr. Quadratzoll, an.

Die Hängstäbe haben den Durchmesser von 2 Zoll, die Gewinde selbst aber nur von $1\frac{1}{2}$ Zoll; dies gibt den Querschnitt von 1.767 Quadratzoll, und das Normal-Tragungsvermögen für jede Hängschraube von 26505 ℔; die Hängstäbe sind also in der Wirklichkeit einer Anstrengung ausgesetzt, die noch um fünfmal so klein, als diejenige Belastung ist, welche sie tragen könnten, und dennoch den Anforderungen der Sicherheit vollkommen entsprechen würden.

Die Kreuzstreben wirken gleichsam vermittelst ihrer rückwirkenden Festigkeit, um, ihrer Bestimmung zu Folge, zu verhindern, dass die Zangenhölzer sich an einander nähern, in dem Maasse, wie die Hängschrauben dem Bestreben sich von einander zu entfernen entgegenwirken, wobei jedoch diese ausschliesslich in vertikaler, während Jene in schräger Richtung diese Bedingungen zu erfüllen angewiesen sind.

Wenn daher bei dem ganzen Systeme das Gleichgewicht Statt findet, so muss es auch bei den einzelnen Bestandtheilen desselben vorhanden sein; folglich wenn das Tragungsvermögen v der Hängschrauben als ein an jedem Vereinigungspunkte e der obern Zangenhölzer a (Fig. 5) von oben nach unten wirkender Druck betrachtet, der Winkel oef mit m, die Anzahl der am Punkte e vereinigten Streben und Gegenstreben mit n, die in der Richtung der Fasern wirkende Belastung, welcher jede Strebe, wenn sie vertikal stände, beim Gleichgewicht ausgesetzt werden könnte, mit v'' bezeichnet wird, so wird Tafel II. Fig. 5.

$$\frac{v'}{n \cdot \cos . m} = v'' \quad (38)$$

---

*) Vergleiche Seite 277 des angeführten Werkes.

**) Vergleiche Tredgold »*Pratical essay on the strength of east iron and other metals*« u. s. w. *London John Weale* 59 *High Holborn.* 1842. Seite 112.

sein. Die Kraft v' lässt sich in eine horizontale und vertikale zerlegen. Erstere ist durch $\frac{v' \,.\, tang.\ m}{n}$, Letztere durch $\frac{v'}{n}$ ausgedrückt.

Wenn die Länge der Hölzer das Acht-, Zehn- bis Zwölffache ihrer Stärke übersteigt, und diese vermittelst ihrer rückwirkenden Festigkeit wirken, so sind sie eigentlich nicht der Zerstörung durch das Zerdrücken, sondern wirklich dem Zerknicken durch das Biegen ausgesetzt.

Wenn P' das Gewicht, welches die Biegung verursacht, und in der Richtung der Fasern wirkt, l' die Länge der Streben, d das Verhältniss des Umkreises zum Durchmesser bezeichnet, so ist *)

$$P' = \frac{d^2\, M}{l'^2}.$$

Wenn nun für M sein Werth aus der Gleichung (2) gesetzt wird, so hat man

$$P' = \frac{d^2 \,.\, k}{12} \cdot \frac{b\, h^3}{l'^2} \quad (39);$$

wobei $k = 1225600$ **), $b = h = 8$ Zoll, $l = 246$ Zoll, daher $P' = 68360$. Wird diese Kraft in eine vertikale und horizontale zerlegt, so ist Erstere

$$= P' \,.\, cos \,.\, m = P' \,.\, \frac{13}{20{,}5} = 43340,$$

die zugleich jene Belastung ausdrückt, welche der geneigten Strebe das Gleichgewicht halten kann. Um aber das grösste Gewicht zu bestimmen, welches keine schädliche Biegung verursacht, und von der geneigten Strebe mit Sicherheit getragen werden kann, glaubt Navier, dass $\frac{1}{10}$ der aufgefundenen Belastung P' genommen werden solle, wo alsdann anstatt P', $\frac{P'}{10} = 6836$, und anstatt $P' \,.\, cos \,.\, m$, $\frac{P' \,.\, cos \,.\, m}{10} = v = 4334$ wird.

Wird in die Gleichung (38) für v' der oben aufgefundene Werth von 5019.07 gesetzt, so erhält man $v'' = 2641$, also jede Strebe ist beinahe zweimal so stark, als es die volle Sicherheit erfordert, und seine wirkliche Leistung zwanzigmal vom Bruche entfernt.

---

*) Vergleiche Navier Seite 193 bis 204.

**) Der Werth von k ist aus den Gleichungen (2) und (3), wo $y' = 2P \,.\, \frac{(2l^3)}{4 \,.\, k\, b\, h^3}$ und $k = \frac{(2P)\ (2l)^3}{4\, b\, h^3\, y'}$ entnommen, dann durch Substituirung der Daten der IV. Tabelle (Seite 31, Versuche 31, 32, 33) für die rothe Fichte *(pitch pine)* berechnet, da die Weisstanne in der Elastizität mit der Rothtanne gleichgestellt werden kann. Hingegen sind die in der I. Tabelle (Seite 28 bis 33) enthaltenen Werthe von k von Barlow aus seiner eigenen Formel $k = \frac{(2P)\ (2l)^3}{32\, b\, h^3\, y'}$ berechnet.

Nach Rondelet *) kann man die rückwirkende Festigkeit des Zerknickens aus jener des Zerdrückens erhalten, wenn bei Berücksichtigung der Länge der Hölzer im Verhältnisse zu ihrer Stärke (zur grösseren Kante des Querschnittes) folgende Bruchtheile Ersterer für Letztere angenommen werden.

Für das 12fache der Stärke . . . . . $\frac{5}{6}$
„ „ 24fache „ „ . . . . . $\frac{1}{2}$
„ „ 36fache „ „ . . . . . $\frac{1}{3}$
„ „ 48fache „ „ . . . . . $\frac{1}{6}$
„ „ 60fache „ „ . . . . . $\frac{1}{12}$
„ „ 72fache „ „ . . . . . $\frac{1}{24}$

Wird nach G. Rennie die rückwirkende Festigkeit der Weisstanne bei dem eigentlichen Zerdrücken zu 1928 ℔ für den Quadratzoll angenommen, so wäre im vorliegenden Falle die rückwirkende Festigkeit der Streben, bei ihrer Länge von $20\frac{1}{2}$ Fuss und bei ihren sonstigen Dimensionen von 8 Zoll im Gevierte, wenn sie vertikal ständen $= 1928 \times 64 \times \frac{5}{12} = 51414$,
während nach obiger Formel (39) $P' = 68360$; ein Unterschied, welcher an und für sich nicht von Belang, jedenfalls bei dem oben nachgewiesenen Überschuss an Festigkeit von keinem Einfluss ist. Navier glaubt für Hölzer, deren Länge nicht das Zwanzigfache ihrer Stärke überschreitet, die Regel des Rondelet vorzugsweise anzuwenden, für Längen über dieses Verhältniss hingegen die Benützung obiger Formel (39) eintreten zu lassen.

ÜBER DIE ANWENDUNG

der Howe'schen Brücken-Construction.

1. Vortheile der Howe'schen Construction.

Ich habe oben, Seite 3 und 4, der Vortheile erwähnt, welche grössere Brückenöffnungen bei Übersetzung von Flüssen überhaupt gewähren. Ich habe nämlich, bei vorübergehender Berührung der Schwierigkeiten, welche mit der Herstellung von Pfeilern in einem Flussbette verbunden sind, bemerkt, dass im Allgemeinen grössere Brückenöffnungen deshalb sehr wünschenswerth sind, weil unter übrigens gleichen Umständen nur durch grössere lichte Weiten der Brückenfelder, die Anzahl der Pfeiler, somit auch im Ganzen die Bauschwierigkeiten verhältnissmässig vermindert werden können.

---

*) Vergleiche Navier Seite 199, 200, 204.

Bei Herstellung von Pfeilern in einem Flussbette machen sich nämlich zwei Hauptrücksichten geltend: wovon die Eine das System des Flusses vom Gesichtspunkte seiner hydraulischen Zustände und Schifffahrtsverhältnisse, die Andere aber die eigentliche Ausführung des Bauwerkes in soferne betrifft, als die Grundlegung der Pfeiler in der Regel sehr kostspielige, zeitraubende und höchst mühsame Bauvorkehrungen erheischt, wenn das Fundament bei noch so tiefen und reissenden Gewässern sicher und dauerhaft ausgeführt werden soll.

Bekanntlich unterliegen die Flüsse *) gewissen Naturgesetzen, vermög welcher die Beschaffenheit der Bette, die Lage der Ufer, die Tiefe der niedrigen, die Höhe der Hochwässer und die Geschwindigkeit untereinander in jenem Zusammenhang stehen, den man hydraulisches System nennt. Ein oder mehrere fremde Körper in Fluss gestellt, rufen Verschlimmerungen in dem Bestand dieses Systems hervor, welche oft Gegenstand strenger Untersuchungen sind, zumal, wenn hierbei auch noch Bedenklichkeiten in Bezug auf die Eisstockungen, denen die in den nördlicheren Breitengraden gelegenen Flüsse unterworfen sind, eintreten. Diese Rücksicht allein bedingt oft ausschliesslich grössere Brückenöffnungen anzunehmen, um eine verhältnissmässig geringere Anzahl Pfeiler, somit auch eine mindere Beirrung des Flusses gegen die schnelle Abströmung des Treibeises zu erzwecken. Gesellt sich zu dieser auch noch die Rücksicht für die Stromschifffahrt, so erhöhen beide zusammen den Werth grösserer Brückenöffnungen noch mehr.

Diese Rücksichten nicht völlig zu beachten, ist, wenn auch nicht immer unausführbar, doch wenigstens niemals räthlich, weil öffentliche und private Interessen damit verflochten sind, denen leicht durch einen schädlichen Brückenbau Abbruch geschehen könnte. Ich kenne durch meine früheren Dienstverhältnisse Fälle von Flüssen, die in dieser Beziehung sich in solchen verhängnissvollen hydraulischen Beschaffenheiten befinden, welche bisher, hauptsächlich aus Besorgniss schädlicher Beirrungen des Flussbettes, die Ausführbarkeit erwünschter standhältiger Brücken problematisch machten.

Pfeiler im Flussbette gelegt, matten die normale Geschwindigkeit des Stromes ab, und splittern den Stromstrich nach vielfältigen Diversionen. Dies und Jenes erzeugen Versetzungen von Geschieben, fördern die Bildung von Sand- oder Kiesbänken, die Verstopfungen der Eisschollen, die Aufstauung der Hochwässer, zuweilen auch den Rückstau des Flusses. Alles dies wirkt auf die Anrainer durch

---

*) Der Kürze halber umfasst hier die Benennung **Fluss** alle jene zur Überbauung geeigneten Gewässer, als: Wildbäche, Bäche, Flüsse und Ströme, die Bergschluchten nicht ausgenommen.

erhöhte Gefahr der Überschwemmungen, auf die Schifffahrt durch öftere Veränderungen des Stromstriches, durch seine wirblichen Bewegungen schädlich ein.

Was das Bauwerk selbst anbelangt, so ist die Grundlegung von Pfeilern zur Überbrückung von Flüssen ein so wichtiges, mitunter so schwieriges Object, wie kein Anderes in der Baukunst. Und wenn man auch alle Schwierigkeiten durch Mühe und Kosten bei Angst und Bang überwunden hat, wenn es gelungen ist, den Grundbau sicher zu legen, wenn die Pfeiler endlich ausser Wasser aufgemauert dastehen, so liess man hinter sich eine solch lange Bauperiode zurück, die oft in keinem Verhältnisse zu dem Objecte steht; zumal, aus vielfältigen Ursachen, nicht alle Brückenpfeiler zugleich hergestellt werden können.

Die Hängkettenbrücken, weil sie vornehmlich grosse lichte Weiten zulassen, sind allerdings zunächst berufen, alle diese Bedenken aus dem Wege zu räumen. Allein, wie oft scheitert nicht die Ausführung eines solchen Objectes an anderweitigen Schwierigkeiten! Eine im Vergleiche zu andern Baumaterialien billige Erzeugung der Eisenbestandtheile ist noch immer für einige Gegenden unseres Continentes nicht erzielbar, mindestens in dem Maasse nicht, dass die Baukosten zu den Vortheilen des Baues selbst in einem lohnenden Verhältnisse ständen. Ausserdem erhielt das Ketten-System noch nicht für alle Communicationsmittel und für noch so grosse Erschütterungen eine unbeschränkte Anwendung. Es ist aber hier nicht am Orte, in die Erörterung dieses Punctes tiefer einzugehen: genug, dass in dieser Beziehung die Howe'schen Brücken schon die Erfahrung für sich haben, und in manchen praktischen Fällen vermag unsere Wissenschaft doch nur im Vereine mit der Erfahrung uns behülflich zu sein *).

Ein Hauptvortheil der Howe'schen Brücken besteht also darin, dass sie bei einer einfachen Construction grössere Brückenöffnungen zulassen. Diesen Vortheil haben sie zwar mit den Town's- und Long'sbrücken gemein, allein die Howe'schen haben durch Vermeidung einiger Übelstände, die eine lange Erfahrung bei den übrigen Constructionen kund gab, diesen den Vorrang abgewonnen. An den Town'sbrücken ist nämlich auszustellen, dass der ganze Verband nur mittelst Nägel bewirkt, welche nebstdem, dass sie die Hölzer schwächen, durch den Gebrauch lose werden, somit im Verlaufe der Zeit bedeutende Setzungen der Brückenträger eintreten lassen. Dieses Gebrechen wird mit der Zeit um so bedenklicher, als auf eine

---

*) Brücken, wie die Howe'schen, nach dem Gitterwerks-Systeme gebaut, eignen sich zu allen erdenklichen Communicationswegen vollkommen. (S. Seite 66.)

Verspannung der Hölzer, durch welche die horizontale Lage nachgeholt, oder mindestens der eingetretenen Setzung Einhalt gethan werden könnte, nicht fürgedacht ist.

Bei der Longs-Construction sind alle diese Übelstände vermieden, nur trägt dieselbe den Fehler an sich, welcher aus der Benützung von einem Systeme von Keilen entspringt; indessen ist weder die Town'sche noch die Long'sche Construction zu verwerfen, und Letztere insbesondere könnte in einigen Fällen eine zweckmässige Anwendung finden.

Die Howe'sche Construction ist aber von allen diesen Übelständen frei, und als eine Verbesserung Beider anzusehen.

Ein weiterer Vortheil dieser Construction bestehet in der Möglichkeit, nur kurze und nur mittelmässig starke Hölzer zu benützen. Dieser Vortheil steigt bedeutend an Werth in jenen Gegenden, wo ein absoluter Mangel an grossen Baumstämmen einen beschränkten Spielraum zur Wahl der Brückenbauart zulässt. Ferner, die Vermeidung von allen künstlichen Verzahnungen, die Einförmigkeit der Construction; wobei eigentlich die Brücke aus drei einzigen Bestandtheilen, die sich durchgehends wiederholen, besteht; und die Einfachheit des Verbandes sind weitere Eigenthümlichkeiten dieser Constructionsart, die im Vereine mit den Obenerwähnten auf ihre Anwendung aufmerksam machen.

2. Grösse der lichten Weite für die Brückenöffnungen.

Unter den Fragen, die bei der praktischen Anwendung der hier besprochenen Brücken-Construction einer Erörterung bedürfen, kömmt zunächst die Bestimmung der Grösse der Brückenöffnungen an die Reihe. Eigentlich unterliegt diese Frage im Allgemeinen jener Behandlung, die allen Entwürfen von Brücken gemein ist. Die Verhältnisse des Flusses sind es nämlich, von welchen die Eintheilung der Brückenöffnungen abhängt, sonst aber, nach Obigem, je grösser, desto besser. Also dieserwegen kann es sich in Bezug auf die Construction selbst nur um die Frage handeln, welches Maximum selbe zulässt?

Die Gleichungen (8) und (11) zeigen, dass unter übrigens gleichen Umständen das Tragvermögen des Trägers sich wie die Producte aus der Breite des Trägers in das Quadrat seiner Höhe, und umgekehrt, wie die Länge des Brückenfeldes verhält. Dieses Product nimmt zwar — Seite 26 und 27 — nach der Gleichung (11) durch die in dem Träger sich befindenden Zwischenräume etwas ab, jedenfalls aber besteht zwischen der Länge und der Höhe des Trägers immerhin ein günstiges Verhältniss, so dass beim Zunehmen der lichten Weite, und unter übrigens gleichen Umständen, die Höhe nur in einem geringen Verhältnisse zunimmt.

Zur möglichsten Vermeidung von Schwankungen bei der Befahrung der Brücke, und zur Erhaltung der Träger in standhältig lothrechter Richtung ist es wünschenswerth, zu beträchtliche Höhen des Trägers nicht anzunehmen. Die Gleichung (11), dann die Gleichungen (35), (36) und (37) zeigen, dass durch Vermehrung der Breite b, combinirt mit einer angemessenen Verstärkung der Dicke h' der Zangenhölzer, bei nur mässigem Zunehmen der Höhe h des Trägers, die lichte Weite in einem sehr günstigen Verhältnisse vergrössert werden kann.

Für die praktische Anwendung dieser Brücken-Construction stellt es sich am räthlichsten dar, die Stärke und die Breite der Zangenhölzer, d. i. b und h' a priori zu bestimmen, sodann aus den Gleichungen (35), (36) und (37) ein angemessenes Verhältniss zwischen der Länge $2l$ und der Höhe h des Trägers auszumitteln. Dieses Verhältniss wird aus den Gleichungen (35), (36) und (37) abgeleitet, und durch folgende dargestellt werden:

$$(35)_b \quad h = \sqrt{\left(\frac{2k'b'h'^2 + Pl}{k'bh'}\right)^2 - \tfrac{4}{3}\,'h^2} + \tfrac{1}{2}\,\frac{(2k'b'h^2 + Pl)}{k'bh'},$$

$$(36)_b \quad h = \sqrt{\left(\frac{2k'b'h'^2 + {}^3/_4 Pl}{k'bh'}\right)^2 - \tfrac{4}{3}\,'h^2} + \tfrac{1}{2}\,\frac{(2k'b'h^2 + {}^3/_4 Pl)}{k'bh'},$$

$$(37)_b \quad h = \sqrt{\left(\frac{2k'b'h^2 + {}^7/_{10} Pl}{k'bh'}\right)^2 - \tfrac{4}{3}\,'h^2} + \tfrac{1}{2}\,\frac{(2k'b'h^2 + {}^7/_{10} Pl)}{k'bh'}.$$

Oberst Long hat für sein Brückensystem eine Tabelle geliefert, in welcher er unter Andern das Verhältniss der lichten Weite und der Höhe der Träger für Brückenöffnungen von 55 bis 300 Fuss gibt, wobei er den Werth von h' für Öffnungen unter 60 Fuss lichter Weite zu 9 Zoll und darüber, höchstens zu 12 Zoll annimmt.

Das Verhältniss ist übrigens, wenn für h' nach der Aufeinanderfolge 9, 10, 11 und 12 Zoll angenommen wird, Folgendes:

55	Fuss lichte Weite	$h =$	$\frac{2l}{4}$	+ 9	Zoll
91	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{6.67}$	+ 10	„
114	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{8}$	+ 10	„
137	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{9.33}$	+ 10	„
188	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{10.67}$	+ 11	„
222	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{12}$	+ 11	„
260	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{13.33}$	+ 12	„
300	„ „ „	$h =$	$\frac{2l}{15}$	+ 12	„

Nach dieser Annahme wären in den Gleichungen (35), (36) und (37) $2l$, h und h' gegeben, und es bliebe sodann hieraus den Werth von b aufzufinden. Man hat also:

$$(35)_c \quad b = \frac{\frac{3}{2}\,2P \,.\, 2l}{k'\left(6h'(h-2h') + \frac{8'h^3}{h}\right)}$$

$$(36)_c \quad b = \frac{\frac{9}{8}\,2P \,.\, 2l}{k'\left(6h'(h-2h') + \frac{8'h^3}{h}\right)}$$

$$(37)_c \quad b = \frac{\frac{21}{20}\,2P \,.\, 2l}{k'\left(6h'(h-2h') + \frac{8h'^3}{h}\right)}$$

Hier muss erinnert werden, dass, wenn a die Anzahl der Zangenhölzerreihen für jeden Träger bezeichnet, so muss in der praktischen Berechnung für b immer ab genommen werden. Bei der Anwendung des Howe'schen Systems lässt sich die Zahl a und der Werth b a priori bestimmen, wenn h aus den Gleichungen $(35)_b$, $(36)_b$ und $(37)_b$ berechnet werden soll; jedenfalls ist, wenn $a > 2$, die Anzahl der Streben durch $a - 1$, die Anzahl der Hängschrauben ebenfalls durch $a - 1$, die Anzahl der Gegenstreben aber durch $a - 2$ ausgedrückt.

3. Näheres über die Eintheilung der Brückenöffnungen.

Wir haben oben Seite 45, 46 und 47, Gleichungen (8), (27), (33) und (34), gesehen, dass bei unter einander gleichen Öffnungen, und bei übrigens gleichen Umständen, das Tragungsvermögen der Brücke mit einer einzigen Öffnung am geringsten, hingegen Jenes der mittleren Brückenfelder, bei Brücken mit mehr als zwei Öffnungen am grössten ist. Bei Brücken mit zwei Öffnungen ist das Tragungsvermögen um $\frac{1}{3}$ grösser als Jenes der Brücke mit einer einzigen Öffnung, und ungefähr dasselbe Verhältniss gilt bei Brücken mit mehr als zwei Öffnungen für beide an die Landpfeiler anstossenden Brückenfelder.

Der statische Grund dieses Unterschiedes in der relativen Festigkeit der Träger liegt in dem Umstande, dass bei Brücken mit einer einzigen Öffnung der Träger in der Lage eines an beiden Enden aufliegenden Balkens sich befindet; während bei Brücken mit mehr als Einer Öffnung, für jene an die Landpfeiler anstossenden Brückenfelder der Träger in den Fall eines nur an Einem Ende blos aufliegenden, an dem andern Ende aber befestigten Balkens tritt; bei mittleren Brückenöffnungen hingegen der vermeinte Balken als an beiden Enden befestiget zu betrachten ist.

Navier, gemäss seiner Theorie, behauptet, dass das Tragvermögen eines in den so eben betrachteten drei Fällen befindlichen Balkens sich wie 3 : 4 : 6 verhält *); wogegen Barlow nur den ersten und letzten Fall berücksichtigend, gestützt auf Resultate der Erfahrung, das Verhältniss des Tragungsvermögens für diese zwei Fälle wie 2 : 3 annimmt **).

Oberst Long gibt in seiner „*Description of Bridges together with a series of directions to bridge builders*“ ***) zwar keine theoretische Berechnung zu seinen „*sundry improvements in the construction of frame bridges*,“ untersucht aber den Fall von Brücken mit einer einzigen Öffnung, mit zwei und mit mehr als zwei Öffnungen, bei Berücksichtigung der Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit, welche abwechselnd die unteren und oberen Fasern des vermeint ununterbrochenen Balkens, d. i. des Trägers erleiden; unterscheidet den Widerstand des Trägers bei Brücken mit einer einzigen Öffnung von jenem bei Brücken mit mehr als Einer Öffnung, indem er Ersteres *single action*, Letzteres aber *double action* nennt; und glaubt, dass das Tragvermögen in den drei vorkommenden Fällen, und bei übrigens gleichen Umständen, dadurch ausgeglichen werden könne, wenn die Grösse der lichten Weite für das Brückenfeld bei Brücken mit einer einzigen Öffnung, für die beiden Brückenfelder zunächst der zwei Landpfeiler bei Brücken mit zwei Öffnungen und darüber, und für sämmtliche mittlere Brückenfelder bei Brücken mit mehr als zwei Öffnungen in dem Verhältnisse wie 4 : 6 : 8 anzunehmen sei ****).

Wiewohl diese Annahme näher an die Theorie Naviers, als an Jene Barlows kömmt, so glaube ich, dass, der grösseren Sicherheit halber, die Resultate der Theorie des Navier blos für die zwei ersten Fälle, d. i. für Brücken mit einer Einzigen und mit zwei Öffnungen, anzunehmen seien; für den dritten Fall, und zwar

---

*) Vergl. Navier, Seite 187, 189 und 192.

**) Vergl. Barlow, Seite 138, 147 und 148.

***) Vergl. die zur Seite 46 dieser Schrift enthaltene Anmerkung.

****) *Each exterior or abutment span being destitute of one of those four equal actions, viz. tension in the upper string immediately above the abutment, it is obvious that the length of an abutment span, should be one — fourth les than that of an intermediate span. When the bridge has but one span, two of these equal actions will be wanting, viz. tension in the upper string above both abutments; hence, the span should be but half as long as an exterior span, in order to possess equal strength and efficiency.*

Accordingly, in adjusting the spans of bridges containing three or more spans, in order to render al the spans equally efficient, the length of each exterior or abutment span should be equivalent to about three — fourths of the length of each interior span; — of bridges containing two spans, the length of each should be equal to that of the other,

für die mittleren Felder bei Brücken mit mehr als zwei Öffnungen ungefähr das Verhältniss von Barlow vorzuziehen ist, somit die Grösse der Brückenöffnungen unter einander beziehungsweise in dem Verhältnisse wie

$$6 : 8 : 10$$

angenommen werden soll, zumal die Resultate der Theorie Naviers über unterbrochene Balken, die an mehr als an drei Puncten unterstützt sind, rücksichtlich der mittleren Öffnungen mit der Theorie des an beiden Enden befestigten Balkens nicht so genau übereinstimmt, wie dies bei jenen nur an drei Puncten unterstützten Balken der Fall ist *).

Wenn also nach Obigem die Haupteintheilung der Flussweite in jene den Flussverhältnissen mit besonderer Rücksicht auf die Hochwässer, auf die Schifffahrt und auf die Eisstockungen angemessenen Brückenöffnungen schon a priori wird vorgenommen worden sein, so werden erst die übrigen Verhältnisse und Dimensionen der Brückenträger in ihren Haupt- und einzelnen Theilen auf Grundlage des so eben ausgemittelten Verhältnisses, dann der Gleichungen (35), (36), $(35)_b$, $(36)_b$, und $(35)_c$, $(36)_c$ berechnet und bestimmt werden.

Die Breite des grossen Donaustromes am Tabor bei Wien misst etwa 1320 Fuss (Wiener Maass), und könnte mit 6 bis 7 Öffnungen übersetzt werden. Im ersteren Falle erhielte jedes der vier mittleren Brückenfelder 236 Fuss Länge, die zwei zunächst der Landpfeiler, jedes 188 Fuss. Im letzteren Falle würden die 5 mittleren Brückenfelder je zu 200 Fuss, die zwei zunächst der Landpfeiler zu je 160 Fuss Länge anzunehmen sein. Der kleine Donauarm, das Kaiserwasser, mit etwa 480 Fuss Breite könnte mittelst drei Öffnungen überbaut werden, wovon die mittlere 173, die zwei äusseren Öffnungen jede $153\frac{1}{2}$ Fuss zur lichten Weite erhalten würde. In der lichten Weite ist jedesmal die Stärke der Brückenpfeiler mit eingerechnet **).

---

and about three — fourths of the appropriate length of an intermediate span; — and of bridges containing only one span, the length should be but half the appropriate length of an intermedi te span, and the strength of all the spans will be respectively equal to each other, on the supposition that the principle of double action is effectually introduced into the structure.

*) Vergl. Navier §. 527, Seite 261 und 262, im Vergleiche zu §. 374, Seite 189.

**) Der Draufluss zu Marburg in Steiermark läuft zwischen sehr hohen Ufern eingeschlossen, misst die Breite von 556 Fuss Wiener Maass, und wird von der k. k. Staats-Eisenbahn mittelst einer nach der Howe'schen Construction zu erbauenden Brücke, mit nur zwei Land-, zwei Mittelpfeilern und drei Öffnungen übersetzt werden. Die Brücke erhält, ausschliesslich der Stärke der Landpfeiler, die Länge von ebenfalls 556 Fuss. Bei jeder sonst

4. Über die Brückenpfeiler.

Die Anwendung des Howe'schen Systems schliesst an und für sich die Construction von hölzernen Land- und Mitteljochen nicht aus. Allein, Rücksichten auf Dauer und bessere Standhältigkeit gegen den etwaigen Eisgang und die herabschwimmenden Baumstöcke machen es immerhin wünschenswerth, für die Brückenpfeiler den Steinbau vorzuziehen. Bei der Anwendung der Howe'schen Construction macht sich die weitere Rücksicht geltend, dass der verticale Druck auf den Brückenpfeilern durch ihre grössere Entfernung von einander grösser ausfallen muss, als, unter übrigens gleichen Umständen, bei andern Constructionen der Fall ist; und diesen Druck auszuhalten ist gewiss der Stein- besser als der Holzbau geeignet.

Die Bestimmung der Stärke der Brückenpfeiler hängt zunächst von den Gleichungen (23), (24), (28) und (29) ab, wobei die Vertheilung des Druckes auf die Grundfläche jedes Brückenpfeilers, und die rückwirkende Festigkeit der zu verwendenden Steingattung in Betracht kommen. Im Übrigen unterliegt die Herstellung der Brückenpfeiler, sowohl rücksichtlich der Grundbauart, als auch des Mauerkörpers jenen Gesetzen der Statik und der Baukunst, die allen Constructionen dieser Art Unterbaues gemein sind. Die Anwendung der Mauerbänke t, t, t unter den Trägern (Taf. II. Fig. 4) ist unbedingt nothwendig, um die Auflage derselben, somit auch den Druck auf die ganze Oberfläche gleichmässig zu vertheilen. Tafel II. Fig. 4.

Das Niveau des höchsten Wasserspiegels des Flusses im angeschwollenen Zustande bestimmt die Höhe der Stemmpuncte für die Streben l, l, l und der unteren Zangenhölzer, somit auch der Brückenpfeiler selbst. Auf einen Spielraum zwischen diesem Stemmpuncte und dem höchsten Wasserspiegel ist jedoch Bedacht zu nehmen, damit die Kämpferlinie der Streben bei noch so ausserordentlichen Hochwässern und Eisgängen immer ausser Wasser bleibt.

Ob die Fahrbahn selbst, gleich mit der Brücke über den Connecticut-Fluss, auf den unteren Zangenhölzern angebracht, oder ob selbe auf der oberen Kante der Träger angelegt werden solle, muss von dem Niveau der an die Brücke anstossenden Bahn abhängen *). Im letzteren Falle die Brückenpfeiler bis zum Niveau der

---

gebräuchlichen hölzernen Construction der Brücke mit massivem Unterbau hätte man statt nur zwei, wenigstens 7 bis 8 Mittelpfeiler herstellen müssen. Der Bau dieser und einer ähnlichen Brücke, jedoch mit nur zwei Öffnungen über den Sulmbach, ebenfalls für die k. k. Staats-Eisenbahn in Steiermark, ist gegenwärtig, Jänner 1845, in der Ausführung begriffen.

*) Die Fahrbahn der Brücke über die Sulm in Steiermark wird auf den unteren Zangenhölzern gestreckt, so dass die Träger zugleich als Geländer dienen. Jene hingegen, der Brücke

Bahn zu erhöhen, wäre nicht nur überflüssig, sondern es würde selbst als der Theorie über den ununterbrochenen auf mehreren Brückenpfeilern gestreckten Balken nicht mehr gemäss anzusehen, und für das Tragungsvermögen der Träger schädlich sein; da die Träger, auf jedem Brückenpfeiler unterbrochen, so zu betrachten wären, als wenn jedes Brückenfeld eine Brücke für sich mit einer einzigen Öffnung bildete.

5. Über einzelne Bestandtheile und die Verspannung der Träger.

Ich habe oft dessen erwähnt, und obige Formeln beruhen darauf, dass, so wie der ganze Träger als ein ununterbrochener Balken betrachtet wird, eben so die untern und obern Zangenhölzer ein durchgehends ununterbrochenes Streckholz bilden. Dass dieses Constructionsglied in dem Tragungsvermögen der Brücke eine wichtige Rolle spielt, zeigen die Formeln selbst.

Der eigentliche Bau der Brücke geschieht mittelst Zuhülfenahme einer Nothbrücke, auf welcher das zur Unterstützung der Träger, während ihrer Anarbeitung erforderliche Nothgerüst aufgestellt wird. Zur eigentlichen Zusammensetzung der Träger werden zuerst die Zangenhölzer vorgerichtet, von einem Brückenpfeiler zum andern gestreckt, und sofort verlängert. Bei dieser Arbeit ist unbedingt nöthig, dass die Zangenhölzer keiner schädlichen Biegung ausgesetzt werden, denn sonst würden sich in dem ganzen statischen Systeme der Träger jene Bedingungen, die den Gleichungen (7), Seite 24; (11), Seite 27; (35), (36) und (37), Seite 47 zu Grunde liegen, und auf welchen die Annahme von $\frac{1}{5}k'$ anstatt k' für den praktischen Gebrauch der Gleichungen selbst beruhet. Schädliche Biegungen der Zangenhölzer, während der Zusammensetzung der Träger werden dadurch verhindert, wenn die Zangenhölzer nach Maass, wie dieselben ins Werk gesetzt und ihre Verlängerung von einem Brückenpfeiler gegen den andern fortschreitet, vermittelst des Nothgerüstes sorgfältigst unterstützt werden.

Bei der Zusammensetzung der Träger ist auf eine Verspannung derselben Rücksicht zu nehmen, um denselben eine Convexität über die horizontale Lage zu geben. Dies wird schon vorläufig bei der Erstreckung der Zangenhölzer bewirkt, dann durch Ein- und Anziehung der Hängschrauben vollkommen hergestellt.

über die Drau wird auf der Ebene der oberen Zangenhölzer angelegt. Die bedeutende Höhe der Flussufer, und jene des Niveau der Eisenbahn selbst, haben diese Einrichtung räthlich gemacht, um die Brückenpfeiler um die ganze Höhe der Träger niedriger halten zu können, da sie bei Allem dem noch sehr hoch über den höchsten Wasserstand des Flusses reichen.

Da diese Convexität zunächst zum Zwecke hat, späteren Einsenkungen der Träger zu begegnen, so scheint es angezeigt, das Maass, d. i. den Pfeil der beabsichtigten convexen Biegung über die horizontale Lage nicht unter Jenem anzunehmen, welcher, vermög obiger Theorie, Seite 23 und 27, bei der concaven Biegung unter die horizontale Lage eintreten würde, wenn der Träger ursprünglich diese Lage hätte. Die Grösse des Pfeiles, d. i. der Werth von y' müsste daher aus der Gleichung (4), in welche vorher für p die gesammte auf die Längeneinheit entfallende, bleibende und jeweilige Belastung, und für M der Werth aus Seite 27 zu setzen wäre, abgeleitet werden. Man erhielte:

$$y' = \frac{p''}{k.b\,(h^3 - {}''h^3)} \cdot \frac{5\,l^4}{2},$$

wobei (vergleiche Seite 51)

$$p'' = \frac{p' + p}{2\,l},$$

und (vergleiche Seite 27)

$$h'' = h - 2h' \text{ ist.}$$

Der Werth von y' gälte hier für Brücken mit einer einzigen Öffnung; für Brücken mit zwei Öffnungen müsste man aber $\frac{y'}{\sqrt{5}}$, und, bei übrigens gleichen Verhältnissen, für Brücken mit mehr als zwei Öffnungen $\frac{y'}{4}$ anstatt y' annehmen, weil die Biegungen in diesen drei Fällen der Theorie der elastischen Linie für Balken folgt, die, beziehungsweise, an beiden Enden blos aufliegen; für jene, die an Einem Ende aufliegen, an dem andern befestiget, und für Jene, welche an beiden Enden befestiget sind. Wenn daher die Substituirung der Werthe von p'' und h'' vorgenommen wird, so gibt obige Formel, für alle drei erwähnten Fälle, Folgende, als: für Brücken mit einer einzigen Öffnung

$$(35)_d \quad y' = \frac{k.a.b\,(h^3 - {}''h^3)}{p''} \cdot \frac{5}{2}\left(\frac{2\,l}{2}\right)^4,$$

für Brücken mit zwei Öffnungen:

$$(36)_d \quad y' = \frac{p''}{k.a.b\,(h^3 - {}''h^5)} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \left(\frac{2\,l}{2}\right)^4,$$

für Brücken mit mehr als zwei Öffnungen, und zwar für die mittleren Öffnungen davon:

$$(37)_d \quad y' = \frac{p''}{k.a.b\,(h^3 - {}''h^3)} \cdot \frac{5}{8}\left(\frac{2\,l}{2}\right)^4;$$

wobei alle Öffnungen als unter einander gleich angenommen werden.

Werden diese Formeln auf die Brücke über den Connecticut-Fluss angewendet, hierbei die Brückenöffnungen durchgehends von gleicher Lichtweite ange-

nommen; dann die Werthe von $p'' = \frac{\frac{1}{2}p' + p}{2l}$ aus Seite 31, 32; von k, aus Seite 54; für $ab - 3b$; $2l$, h und $h'' = h - 2h'$ aus Seite 47 substituirt, so erhält man für die so eben berücksichtigten drei Fälle beziehungsweise:

$$y' = \frac{1}{240} \cdot 2l = 9 \text{ Zoll},$$
$$y' = \frac{1}{526} \cdot 2l = 4.1 \text{ Zoll},$$
$$y' = \frac{1}{960} \cdot 2l = 2.25 \text{ Zoll}.$$

Die Werthe von y' drücken die Grösse des Pfeiles jener Biegung des Trägers aus, welche unter die horizontale Lage eintreten würde, wenn dem Träger bei seiner Zusammensetzung keine Convexität durch Verspannung über die horizontale Lage angewiesen worden wäre. Ich habe Seite 16 angeführt, dass diese Convexität bei der Connecticut-Brücke 6 Zoll Pfeilhöhe misst, also ungefähr um die Hälfte mehr als diejenige, welche nach Obigem, der an die Landpfeiler anstossenden Öffnung treffen würde.

Dieser Überschuss ist nothwendig, um dem, aus dem Austrocknen des Holzes etwa entspringenden Zusammenziehen der einzelnen Holzglieder des Trägers zu begegnen.

6. Schlussbemerkungen über die Anwendbarkeit der Howe'schen Brücken.

Die Howe'sche Construction gehört unter die Kathegorie der Brücken, nach dem Gitterwerkssystem. Es ist das „*Town's lattice work*“ und „*Long's truss frame System*“ verbessert.

Die amerikanischen Gitterwerksbrücken eignen sich zu allen Communicationswegen, zu Chaussées nämlich, zu Eisenbahnen und zu Schifffahrtscanälen.

Der seit dem Jahre 1830 angelegte westliche Pennsylvania-Canal setzt über mehrere Thäler im Alleghany-Gebiete und über den Alleghany-Fluss mittelst hölzerner Brücken nach diesem Systeme gebaut. Ich habe die Aquäducts-Brücke über den Alleghany-Fluss bei Pittsburg in Pennsylvanien aufgenommen. Ihre gesammte Länge beträgt an 900 Fuss mit 6 Brückenöffnungen, jede zu 150 Fuss. Der von ihr getragene Canal hat die Breite von 20 Fuss und die Tiefe von $3\frac{1}{2}$ Fuss. Es ist ein imposanter Anblick den Kanal an 45 Fuss hoch über den Fluss hinweg laufen zu sehen. Auf dem Canal habe ich die Fahrt nach Harrisburg mitgemacht.

Die Träger und die Fahrbahn bei derlei Brücken besitzen eine solche Haltbarkeit, dass auch selbst die geringste Schwankung nicht zu befürchten ist.

Als die Brücke über den Connecticut-Fluss eröffnet wurde, stellte man

Beobachtungen über den Erfolg der Construction an, und es wurde beim Hinweglaufen eines mit einer Locomotive schwerer Kathegorie bespannten Eisenbahntrains eine Senkung in der Mitte der Öffnung von nur $\frac{1}{4}$ Zoll wahrgenommen. *)

Die Anwendbarkeit dieses Systems zu allen Gattungen Communicationswegen hat sich also durch die Erfahrung bewährt. Der einfache Verband, welcher eigentlich alle Verschneidungen entbehrt, und die Möglichkeit durch Anziehung der Schrauben etwa eintretende Setzungen nachzuholen, versprechen auch eine befriedigende Dauerhaftigkeit, wenn anders, nachdem das verwendete Holzmaterial sorgfältig ausgesucht, die Brücke vor den meteorologischen Einflüssen wird gehörig geschüzt worden sein.

Hierzu stellt sich die Bedachung der ganzen Brücke und die Verschallung der Seitenwände von Aussen, als das geeignetste Mittel dar.

Die Höhe des Gitterwerkes über die Fahrbahn kann immer mit Rücksicht auf die, von dem ungehinderten Durchlaufen des Fuhrwerkes bedingte Höhe des Daches bestimmt werden. Die Town's und Long's-Brücken, jene auf Eisenbahnen nicht ausgenommen, sind in Nordamerika in der Regel mit einem Dache versehen, an den Seiten verschallt, und mittelst Fenster beleuchtet.

Wir haben auf unserm Continente Beispiele von eingedeckten Brücken, die seit Jahrhunderten bei nur geringen Ausbesserungen standhaft dastehen. Jedenfalls ist die Vergänglichkeit des Materiales an und für sich noch kein hinreichender Grund, um hölzerne Brücken von der Baukunst auszuschliessen.

Massiv gewölbte Brücken, wenn sie kunstgerecht gebaut sind, sind es für die Ewigkeit; erhalten sie durch die örtlichen Verhältnisse bei grossen Spannweiten auch eine imposante Construction, so werden sie zugleich als Bau-Monumente dastehen. Da wo also Geld, Zeit und Ortsverhältnisse es zulassen, baue man immerhin nur steinerne Brücken. Da aber wo dies nicht der Fall ist, kömmt dafür die Holz-Construction sehr gut zu statten. Ja es kommen bisweilen Fälle von Flussübersetzungen vor, wo an einem und demselben Orte neben einer steinernen, Eine oder mehrere hölzerne Brücken erbaut werden müssen **). Den dringenden Bedürfnissen der Ge-

---

*) *The deflection on the bridge in the middle of a span, during the passage of a locomotive and train, by careful measurement, was found to be only a quarter of an inch.* (Vergl. *Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania third series. Vol. III. May* 1842 *Nr.* 5.)

**) Auf der Strasse Callalta in Österreich (Venezianischem Königreiche) habe ich mitten zwischen massiv gewölbten Brücken, grosse hölzerne, für die jeweilige Inundation des nicht regulirten Piave-Flusses angelegten. In Mähren musste ich die Brücken über den ebenfalls

genwart zu entsprechen ist ja der Zweck innerer Communicationen in einem Lande, und mittelst Brücken mit steinernem Unterbau und hölzernem Oberbau bei Anwendung grösserer Spannweiten, gelangt man unstreitig am schnellsten und am wirthschaftlichsten zum Ziele. Zu einem Strassenbau, also bei grossen Flüssen und häufig vorkommenden Flussübersetzungen, ist diese Bauart vornehmlich empfehlenswerth.

So wie bei den andern Constructionen, eben so ist bei der Howe'schen die Eintheilung der Brückenöffnungen im Zusammenhange mit der Bestimmung der Höhe des Trägers die Hauptaufgabe. Die Brücke in zwei Fahrbahnabtheilungen anzulegen und für jede zwei Träger für sich herzustellen, erleichtert die Construction und sichert die ununterbrochene Benützung der Brücke für immerwährend, da die etwa eintretenden Reparaturen in der Art eingetheilt werden können, dass immer eine Fahrbahn beständig frei bleibt, während die andere ausgebessert wird.

Nach der Bestimmung der Brückenöffnungen und der Höhe des Trägers, kömmt die Eintheilung der Hängschrauben und der Verstrebung der Zangenhölzer an die Reihe. Um dies zu vollziehen ist nach den in Seite 52, 53, 54 enthaltenen Sätzen, dann nach den Gleichungen (38), (39) vorzugehen. Hierbei ist der Abstand zwischen den Hängschrauben auch mit Rücksicht auf den auf die Tragweite *e e*, Fig. 4, der Zangenhölzer entfallenden Antheil der jeweiligen Belastung zu bestimmen, da auf dieser Tragweite die Querhölzer, welche die Belastung unmittelbar zu tragen haben, ruhen. Die Hängschrauben selbst können dadurch eine Verbesserung erhalten, wenn die Enden, wo die Gewinden geschnitten sind, stärker, die eigentlichen Stangen aber weniger stark, und zwar im Durchmesser gleich mit der Stärke der Gewinde selbst gehalten werden. Hierdurch wird zu Gunsten des Tragungsvermögens der Brücke und der Ökonomie zugleich, ein überflüssiges Eisengewicht wegfallen.

Die Brückenträger nach Howe'schem Princip gänzlich von Eisen zu construiren, dürfte in manchen Fällen einer weiteren Anwendung dieses Systems Anlass geben.

---

nicht regulirten Thaya-Fluss bei Lundenburg sämmtlich von Holz; über die Schwarzawa bei Pausram liess ich Eine durchaus von Stein, nebenan aber musste ich zwei von Holz, und bei Brünn konnte ich wieder eine gewölbte erbauen. An diese letztere schliesst sich der grosse massive Viaduct an, welcher bis zum Bahnhofe in die Stadt reicht. Auf der unter meiner Leitung ausgeführten 20 österr. Postmeilen langen Strecke der a. p. Kaiser Ferdinands-Nordbahn von Rabensburg bis Brünn, und von Lundenburg bis Spittinau habe ich sonst bei dem Brückenbau vorherrschend die Construction von Ziegelgewölben angenommen; da Ziegel im Lande überall und zu billigen Preisen erzeugt, wogegen das Bauholz, vorzüglich grosse Stämme, von Weiten her zugeführt werden. Ich könnte übrigens eine Unzahl von Fällen von Strassen und Canälen anführen, wo bald massiv gewölbte bald hölzerne Brücken vorkommen.

Anhang.

Es dürfte den Ingenieuren nicht unwillkommen sein, in diesem Anhang einen Auszug aus der im XIX. Bande der Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes zu Wien enthaltenen Abhandlung vom k. k. Regierungsrathe, Prof. Adam Burg, über die Festigkeit der Materialien und die Eigenschaften des Eisens, dann einige Tabellen aus Eytelwein's, Gerstner's, Rennie's und Barlow's Werken über die absolute, relative und rückwirkende Festigkeit, dann über das specifische und absolute Gewicht einiger Baumaterialien für den praktischen Gebrauch zu finden.

Auszug aus dem XIX. Bande der Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes zu Wien.

*) Bei unsern kürzlich, mittelst der am k. k. polyt. Institute befindlichen, nach der Angabe des sel. Prof. Arzberger sehr stark gebauten Zerreissmaschine angestellten Versuchen mit Eisen- und Stahlprismen von 8 Zoll Länge und $\frac{1}{4}$ Zoll im Geviert, also $\frac{1}{16}$ Quadratzoll Querschnitt, erhielten wir als absolute Festigkeit einer weichen Eisenstange aus der k. k. Innerberger Gewerkschaft 58160 ℔, dagegen als Cohäsionskraft auf die Rissfläche bezogen, welche sich auf $\frac{1}{15}$ Quadratzoll reducirte, 90865 ℔. Für eine Stange federharten englischen Gussstahl (blau angelaufen) als absolute Festigkeit 99840 ℔, welche Zahl sich zugleich auch auf die Rissfläche bezieht, weil keine Zusammenziehung an derselben wahrzunehmen war. Bei einer eben solchen Stange aus ungehärtetem Stahl fanden wir die absolute Festigkeit gleich 96000 ℔, und auf die Rissfläche, welche von ·0625 auf ·0539 herabgebracht wurde, bezogen, 111316 ℔. Bei einer Stange sehr stahlartigem Eisen, welches sich vorzüglich an der einen Längenfläche mehr wie Stahl, an der entgegengesetzten aber wie weiches Eisen verhielt, zeigte sich eine absolute Festigkeit von 88400 ℔, und die Cohäsion auf die Rissfläche (die sich von $\frac{1}{16}$ auf $\frac{1}{8}$ Quadratzoll reducirte) bezogen, gleich 111880 ℔. Endlich wurde auch ein Stück Rahmeisen aus dem Seiner Excellenz dem obersten Kanzler Grafen von Mittrowsky gehörigen, im Olmützer Kreise in Mähren liegenden Wiesenberger Eisenwerke, auf die oben angegebenen Dimensionen gebracht, und, da wir Grund hatten zu vermuthen, dass dasselbe sehr dehnbar oder ductil seyn dürfte, an der einen Seitenfläche mit mehreren, genau um einen halben Zoll von einander abstehenden feinen Querlinien versehen. In Folge des damit vorgenommenen Versuches bewies dieses Eisen nicht nur ein sehr grosses Tragver-

---

*) Vergl. Seite 70 im Folg.

mögen, indem sich dafür die absolute Festigkeit mit 60000, und die Cohäsionskraft auf die Rissfläche, welche dabei von ·0625 auf ·0324, also fast auf die Hälfte reducirt wurde, bezogen, mit 115740 ℔ ergab, sondern zugleich auch, trotz des sehr kurzfaserigen oder kurzhaarigen (mehr stahlähnlichen) Bruches, als ausserordentlich dehnbar, indem sich jenes Intervall von $\frac{1}{2}$ Zoll Länge, zwischen welchem der Riss Statt fand, um 2 Linien, also um $\frac{1}{3}$ oder nahe 33 Procent gestreckt hatte. Zugleich zeigten sich alle vier Seitenflächen ganz wellenförmig, nämlich an sehr vielen Stellen gleichförmig eingezogen, zum Beweis, dass fast der ganzen Länge nach die gleiche Tendenz zum Abreissen vorwaltete. Ein früherer, noch unterm verstorbenen Prof. Arzberger vorgenommener Versuch mit einer Eisengattung des nämlichen Eisenwerkes, welches sich trotz seines feinkörnigen, stahlartigen Bruches als das beste weiche und geschmeidige Eisen im Verarbeiten jeder Art zu erkennen gab, zeigte eine absolute Festigkeit von 59000 Pf.

Aus allen hier angeführten Thatsachen können wir wohl im Durchschnitt und in runden Zahlen für die absolute Festigkeit des Schmiedeisens von guter Qualität 50000 ℔, und für jene auf die verkleinerte Rissfläche bezogen, d. i. für dessen Cohäsionskraft, 100000 ℔ annehmen; dort, wo dem Abreissen keine Seitenschiebung oder Zusammenziehung der Rissfläche vorausgeht, wie es z. B. beim gehärteten Stahl der Fall ist, stellt dann diese letztere Zahl zugleich auch die absolute Festigkeit im gewöhnlichen Sinne dar.

Da ferner die absolute Festigkeit feiner, z. B. Clavier-Drähte (m. s. oben in Nr. 2) ziemlich nahe ebenfalls nur in runden Zahlen genommen) mit dieser letztern Zahl übereinstimmt, so sind wir der Meinung, dass ihre grosse Stärke ausser den oben in Nr. 2 angegebenen Ursachen vorzüglich dem Umstande zuzuschreiben sein möchte, dass hier keine Zusammenziehung an der Rissfläche Statt findet, also durch die Operation des Drahtziehens bereits, wenn auch nicht absolut alle, doch fast die sämmtliche Verschiebbarkeit weggeschafft wurde, eine Meinung, welche zugleich durch die oben in Nr. 12 angeführten Gerstner'schen Versuche einen sehr grossen Grad von Wahrscheinlichkeit erhält.

Diese durchs Drahtziehen beseitigte Verschiebbarkeit wird aber durch das Ausglühen des Drahtes aufs Neue hervorgerufen. Nach Dufour's Versuchen trug einer der feinsten Eisendrähte von Nr. 4 oder ·85 Millimeter Durchmesser, welcher vorher eine absolute Festigkeit von 48 Kilogrammen (auf den Quadratmillim.) bewiesen hatte, nachdem er ausgeglüht worden, nur mehr 21 Kilogramme; nun stimmt aber das Verhältniss von 21 : 48 nahe genug mit jenem 46700 : 100000 überein, welches zwischen den obigen Mittelzahlen (Nr. 18 und 19) für die absolute Festigkeit (die

sofort von der Verschiebbarkeit abhängt) und der Cohäsionskraft (welche davon unabhängig ist) besteht.

Aus den Lagerjelm'schen Versuchen geht zugleich deutlich hervor, dass auch der Hitzgrad, bei welchem das Ausstrecken der Stangen Statt findet, auf die absolute Festigkeit einen nicht unbedeutenden Einfluss habe. Dieselbe Eisengattung welche in der Schweisshitze ausgewalzt worden, zeigte eine absolute Festigkeit von $23\frac{1}{8}$, jene in der Rothglühhitze gewalzt, $30\frac{1}{2}$, und die in der schwächsten Rothglühhitze ausgewalzte Gattung $23\frac{4}{5}$ Tonnen auf den englischen Quadratzoll; die Rothglühhitze gab also dem Eisen, ohne dessen Zähigkeit zu vermindern, die grösste Stärke.

Da sich nun wohl das Walzen, keineswegs aber auch das Schmieden (wenigstens nicht leicht und ohne sehr viele Hitze zu geben) bei einer bestimmten Temperatur durchführen lässt, indem in der Regel das Eisen, ohne dass es bis zur Schweisshitze erhitzt worden wäre, noch glühend aus den Walzen, dagegen, wenn auch die anfängliche Hitze weit höher war, schon ganz farblos vom Hammer kommt; so lässt sich wohl behaupten, dass unter übrigens gleichen Umständen das Walzen ein stärkeres Eisen als das Schmiedeisen liefern kann. Ausserdem zeigt noch die Erfahrung, dass das Eisen durch das Walzen bedeutend gleichförmiger als durch Schmieden wird.

Dass die Cohäsionskraft durch Wärme vermindert werden muss, lässt sich schon *a priori* begreifen. Nach einem von Tredgold mit einer Eisenstange vorgenommenen Versuche fand durch eine Temperaturs-Erhöhung von $67\frac{1}{2}°$ R. eine Verminderung der Cohäsionskraft um ungefähr $\frac{1}{20}$ Statt; obschon sich wieder im Gegentheil bei den von Dufour mit einem sehr dünnen (85 Millim. Durchmesser haltenden) Eisendraht vorgenommener Versuch, bei welchem der Draht um $22\frac{1}{2}°$ unter Null erkältet und um 92° über Null erwärmt wurde, keine Verschiedenheit in seiner Stärke zu ergeben schien.

Sehr bedeutend und ausser Zweifel jedoch ist diese Abnahme der absoluten Festigkeit bei höhern Temperatursgraden; so zeigen z. B. die Versuche von Tremery und Poirier, dass die absolute Festigkeit einer Eisenstange von 53844 ℔ durch die Erhitzung bis zur dunkeln Rothglühhitze (und Belastung in diesem Zustande) bis auf 9665 ℔, also auf den 5·57ten oder nahe den sechsten Theil herabgebracht wurde. Übereinstimmend damit führt Herr Regierungsrath Prechtl Versuche an, nach welchen das Eisen in der dunkeln Rothglühhitze, also etwa bei 400° R., $\frac{5}{6}$ von seiner Stärke verliert.

Von der andern Seite ist es nicht minder bekannt, dass die Metalle durch Kälte spröder und dadurch wieder weniger cohärent werden, wie namentlich Eisen

und Zink. Die Ursache hievon scheint in dem krystallinischen Gefüge zu liegen, dessen Bestandtheile bei der durch Kälte bewirkten Zusammenziehung in eine Art von Spannung gerathen. Aus diesem Grunde sollen die Fuhrleute die Gewohnheit haben, nach kalten Nächten einige Male gegen die eisernen Axen ihrer Wagen zu schlagen, um eine gleichförmigere Zusammenziehung zu bewirken und deren Sprödigkeit zu vermindern.

Mit besonderer Bezugnahme auf die oft erwähnten Lagerhjelm'schen Versuche ergeben sich nun endlich folgende wichtige und interessante Thatsachen:

1. Zwischen der absoluten Festigkeit des Eisens und seinem Modul der Elasticität besteht kein sichtlicher Zusammenhang; wohl aber ist

2. ein solcher Zusammenhang zwischen der absoluten Festigkeit und Elasticitätsgrenze unbestreitbar, und alle Operationen (als Hämmern, Drahtziehen, Härten etc.), welche diese Grenze zu erweitern vermögen, vergrössern auch zugleich die absolute Festigkeit.

3. Der Modul der Elasticität (das Spannkraftsmaass) hat für weiches und hartes Eisen nahe denselben Werth, auch ändert er sich nicht, bei dem Übergange desselben Eisens oder Stahls aus dem einen in den andern Zustand (was für Stahl auch durch Coulomb und Tredgold bestätigt wird).

4. Zwischen der Verschiebbarkeit und dem Elasticitätsmodul scheint kein, wohl aber zwischen der erstern und der Elasticitätsgrenze (Quantität der Spannkraft) Zusammenhang, und zwar in der Art zu bestehen, dass die Verschiebbarkeit abnimmt, wenn diese Grenze zunimmt und umgekehrt. Bezeichnet δ die grösste noch innerhalb der zur Elasticitätsgrenze liegende Ausdehnung, und Δ die grösste (beim Abreissen Statt findende) Streckung; so ist sehr nahe das Product $\delta \sqrt{\Delta}$ eine constante Grösse und gleich ·00281.

5. Die absolute Festigkeit, welche auf der Verschiebbarkeit beruht, kann für die Cohäsion, die von dieser letztern unabhängig ist, kein reines Maass abgeben.

6. Die Cohäsion ist sehr nahe gleich gross für weiches und für hartes Eisen, so, dass überhaupt ein bedeutender Unterschied in der Cohäsion, ungleiche Körper, nicht aber ungleiche Zustände ein und desselben Körpers zu erkennen gibt.

7. Das Walzen gibt immer ein dichtes, das Schmieden öfter ein undichtes, bisweilen blätteriges Eisen; auch wird das Eisen im erstern Falle bedeutend gleicher als im letztern; endlich schweisst das gewalzte Eisen sicherer als das geschmiedete.

8. Walzen und Schmieden geben dasselbe Maass der Spannkraft (d. i. einerlei Elasticitätsmodul), dagegen scheint die Grenze derselben bei geschmiedetem ungegerbtem Eisen grösser als bei gewalztem zu sein, was vielleicht auf dem Kalt-

hammer beruhen mag. Beim gegerbten Eisen, was überhaupt eine weitere Elasticitätsgrenze als ungegerbtes besitzt, scheint kein solcher Unterschied obzuwalten.

9. Das Walzen macht das Eisen weit verschiebbarer als das Schmieden; die erstere Streckungsart ist demnach der letztern überall dort vorzuziehen, wo die Verschiebbarbeit (welche mit der Cohäsion zusammen die zähe Weichheit ausmacht) eine besonders wünschenswerthe Eigenschaft (als beim Feilen, Nieten, Winden u. s. w.) ist.

10. Da die Verschiebbarkeit auf dem Wärmegrad beruht, bei welchem das Eisen gestreckt wurde, und man diesen letztern beim Walzen mehr als beim Schmieden in seiner Gewalt hat; so kann auch die erstere Streckungsart ein stärkeres Eisen als die letztere geben.

11. Das specifische Gewicht ist bei weichem und hartem Eisen gleich gross und scheint daher gar nicht oder nur in sehr geringem Grade von der Verschiebbarkeit abzuhängen.

12. Das specifische Gewicht des Eisens, welches der Bruchfläche eines abgerissenen Stückes angehört, ist nicht ganz um $\frac{1}{100}$ kleiner als jenes desselben Eisens an der ungestreckten Stelle.

13. Zum Drahtziehen ist nicht der höchste Grad der Verschiebbarkeit, sondern ein gewisses Verhältniss zwischen der Verschiebbarkeit und der Elasticitätsgrenze des Eisens am tauglichsten. Endlich scheint

14. die Cohäsion des Eisens durch Strecken und Gerben zu einer ungleichen Vertheilung in verschiedenen Richtungen gebracht werden zu können; so zeigt sich bei dem öfter gegerbten englischen Eisen quer über nur ein geringer Zusammenhalt, indem es sich der Länge nach spalten lässt. Dieses Phänomen scheint analog mit der Eigenschaft krystallisirter Körper zu sein, nach gewissen Richtungen zu brechen und zu spalten (Ablösungen, Durchgangsflächen etc.).

Alphabetisch geordnete Übersicht über das specifische und absolute Gewicht, dann die absolute Festigkeit u. s. w. einiger fester Körper; wobei s das specifische Gewicht, g das absolute Gewicht eines Prisma von ein Quadratzoll Querschnitt und ein Fuss Länge, a die absolute Festigkeit bis zum Zerreissen; p aber das Normal-Tragungsvermögen, wenn die absolute Festigkeit erst in dem Maasse in Anspruch genommen wird, dass der Körper in seinen Fasern oder überhaupt in seinem innern Gewebe durch die Belastung keine bleibende Ausdehnung, d. i. keine permanente Formänderung erleidet; δ die durch diese Belastung entstehende, also

noch innerhalb der Elastizitätsgrenze liegende Ausdehnung; m den Modul der Elastizität selbst dem Gewichte nach bezeichnet; und die Zahlen auf den Wiener Quadratzoll als Flächen-, auf das Wiener Pfund als Gewichtseinheit bezogen sind *).

A) Für Hölzer.

Ahorn, $s = \cdot 75$, $g = \cdot 294$ ℔, $a = 16000$ ℔ (?), p ?, δ ?, $m = 904540$ ℔ (Leslie).

Apfelbaum, $s = \cdot 661 - \cdot 793$, $g = \cdot 311$, $a = 8480$, p ?, δ ?, m ?.

Birnbaum, $s = \cdot 661$, $g = \cdot 259$, $a = 8560$ (Barl.) — 9400 ℔, p ?, δ ?, m ?.

Buchen (Roth-), $s = \cdot 857 - \cdot 762$, $g = \cdot 334 - \cdot 208$, $a = 18940$ (Eytelw.) — 17930 (Mousschenbr.), 10000 (Barl.), $p = 2056$, $\delta = \frac{1}{570}$, $m = 1171700$ (Tredg.), 1143200 (Leslie).

Buchen (Weiss-), eigentl. Hornbaum, $s = \cdot 755 - \cdot 808$, $g = \cdot 296 - \cdot 316$, $a = 1728$, p ?, δ ?, m ?.

Buchsbaum, $s = \cdot 912 - 1 \cdot 031$, $g = \cdot 357 - \cdot 404$, $a = 13424$ (Musschenbr.) — 1700 (Barl.), p ?, δ ?, m ?.

Ebenholz, $s = \cdot 8 - 1 \cdot 331$, $g = \cdot 313 - \cdot 521$, $a = 11400$, p ?, δ ?, m ?.

Eichen, $s = \cdot 616 - 1 \cdot 17$, $g = \cdot 241 - \cdot 458$, $a = 9000$ (Barl.), 10500 (Tredg.), 16000 (Musschenbr.), 18000 (Eytelw.), $g = 3450$, $\delta = \frac{1}{430}$, $m = 1253980$ (Nav.), 1305460 (Leslie), 1480960 (Tredg.), 1596800 (Bev.).

Erlen, $s = \cdot 66$, $g = \cdot 259$, $a = 12364$ (Mus.), 20950 (Eytelw.), p ?, δ ?, m ?.

Eschen, $s = \cdot 725 - \cdot 845$, $g = \cdot 284 - \cdot 331$, $a = 15000$ (Barl.), 17760 (Mussch.), $p = 322$, $\delta = \frac{1}{385}$, $m = 1350000$ (Leslie), 1428700 (Tredg.).

Fichten (gelbe amerikanische), $s = \cdot 46$, $g = \cdot 179$, a ?, $p = 3400$, $\delta = \frac{1}{414}$, $m = 1390000$.

Granadillen, $s = 1 \cdot 354$, $g = \cdot 530$, $a = 14360$, p ?, δ ?, m ?.

Guajak, $s = 1 \cdot 341$, $g = \cdot 525$, $a = 12220$, p ?, δ ?, m ?.

Hollunder, $s = \cdot 695$, $g = \cdot 272$, $a = 8900$, p ?, δ ?, m ?.

Kirschbaum (wilder), $s = \cdot 715$, $g = \cdot 280$, $a = 11800$, p ?, δ ?, m ?.

Kiefer, $s = \cdot 623 - \cdot 657$, $g = \cdot 244 - \cdot 257$, $a = 12480$ (Mus.), 15850 (Eytelw.), p ?, δ ?, $m = 1518500$ (Bev.), 1700000 (Leslie).

Kork, $s = \cdot 24$, $g = \cdot 094$, a ?, p ?, δ ?, $m = 299$ (Bev.).

Lärchen, $s = \cdot 622$ $g = \cdot 244$, a ?, $p = 1800$, $\delta \frac{1}{520}$, $m = 9357000$ (Tredg.), 1288800 (Leslie).

---

*) Vergl. Seite 78, 79, 80 u. s. w. des XIX. Bandes der Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes.

Linden, $s = \cdot 604$, $g = \cdot 237$, $a = 11700$, p?, δ?, m?.

Mahagony, $s = 1 \cdot 063$, $g = \cdot 416$, $a = 7000$, $p = 3000$, δ?, $m = 1390000$ (Tredg.), 158700 (Bev.).

Mispel, $s = \cdot 944$, $g = \cdot 370$, $a = 10180$, p?, δ?, m?.

Nussbaum, $s = \cdot 664$, $g = \cdot 260$, $a = 12000$, p?, δ?, m?.

Oliven, $s = \cdot 927$, $g = 363$, $a = 10800$, p?, δ?, m?.

Pflaumenbaum, $s = \cdot 785$, $g = \cdot 307$, $a = 9400$, p?, δ?, m?.

Sandelholz (rothes), $s = 1 \cdot 128$, $g = \cdot 442$, $a = 8570$, p?, δ?, m?.

Tanne (Weiss-), $s = \cdot 55$, $g = \cdot 215$, $a = 8750$ (Mus.), 10500 (Barl.), 13000 (Eytelw.), $p = 3160$, $\delta = \frac{1}{500}$, $m = 1066400$ (Bev.), 1573000 (Lesl.), 1594000 (Tredg.)

Tanne (Roth- oder Fichten), $s = \cdot 421 - 498$, $g = \cdot 164 - \cdot 195$, $a = 9250$ (Eitelw.), 10200 (Mussch.), $p = 3200$, $\delta = \frac{1}{470}$, $m = 1756000$ (Tredg.), 2200000 (Bev.).

Teack (indian. Eiche), $s = \cdot 86$, $g = \cdot 336$, $a = 13000$, p?, δ?, $m = 1490000$ (Bev.), 1880000 (Leslie).

Ulmen, $s = \cdot 671$, $g = \cdot 263$, $a = 12900$, $p = 2800$, $\delta = \frac{1}{414}$, $m = 1167000$ (Tredg.), 1230000 (Leslie).

Weiden, $s = \cdot 585$, $g = \cdot 229$, $a = 14000$, p?, δ?, m?.

Weissdorn, s?, g?, $a = 15500$, p?, δ?, m?.

B) Metalle.

Blei (gegossen), $s = 11 \cdot 352$, $g = 4 \cdot 446$, $a = 1590$, $p = 1200$, $\delta = \frac{1}{500}$, $m = 627000$.

Blei (Platten), $a = 1670$.

Blei (Draht), $s = 11 \cdot 445$, $g = 4 \cdot 483$, $a = 3330$ (Eytelw.), 2220 (Guyton M.), 1934 (Karmasch.).

Eisen (geschmiedetes), $s = 7 \cdot 788$, $g = 3 \cdot 050$, $a = 46800$ (Lagerhjelm), 52000 (Dufour), 54000 (Telf), 55000 (Rennie), 57000 (Rond.), 59000 (Tredg.), 61000 (Brunel), 63000 (Mussch.), $p = 20000 - 25000$, $\delta = \frac{1}{1400}$, $m = 24780000$ (Tredg.), 25000000 (Bev.), 25680000 (Lagerhjelm).

Eisen (gewalztes Blech), in der Richtung des Walzens, $a = 50550$, darauf winkelrecht = 45170 (Nav.).

Eisen (Draht), $a = 83500$ (Duf.), 83800 (Seguin), 80000 (Gerstner).

Eisen (Clavierdraht), $a = 119000$ (Gerstn.), 110000 (Seg.), 166459 (Karm.).

Eisen (Guss-), $s = 7{\cdot}2 - 7.6$, $g = 2{\cdot}824 - 2{\cdot}977$, $a = 59600$ (Musschenbr.), 39000 (Tredg.), 19400 (Brown.), 17300 (Nav.), 16600 (Ren.), $p = 13300$ (Tredg.), $\delta = \frac{1}{1200}$, $m = 16000000$ (Tredg.), 12000000 (Rond.).

Erz, $s = 8{\cdot}37$, $g = 3{\cdot}278$, $a = 15680$, $p = 5840$, $\delta = \frac{1}{1330}$, $m = 7779000$.

Glockenspeise, $8{\cdot}441 - 9{\cdot}235$, $g = 3{\cdot}306 - 3{\cdot}617$, a?, $p = 8700$, $\delta = \frac{1}{960}$, $m = 8600000$ (Tredg.).

Gold (gegossen), $s = 19{\cdot}258$, $g = 7{\cdot}543$, $a = 17860$, p?, δ?, m?.

Gold (Draht), $s = 19{\cdot}361$, $g = 7{\cdot}584$, $a = 56860$, 26995 (Guyton M.), 25245 — 41082 (Karm.).

Kanonengut (hartes), $a = 31680$ (Rennie).

Kupfer (gegossen), $s = 8{\cdot}788$, $g = 3{\cdot}442$, $a = 16615$ (Rennie), p?, δ?, m?.

Kupfer, japanisches, spanisches, ungarisches, $a = 17700$, 18400, 27600.

Kupfer (gehämmert), $s = 9{\cdot}000$, $g = 3{\cdot}525$, $a = 28750$ (Tredg.), 30,800 (Ren.), 32900, 34800.

Kupfer (Draht, schwedischer), $s = 8{\cdot}878$, $g = 3{\cdot}477$, $a = 3400$, 54000 (Guyton M.), 49693 — 65823, bei einer Dicke von ·0587 bis ·0168 Pariser Zoll (Karm.).

Kupfer (Platten, gewalzt), $a = 26150$ (Navier), 32200 (Tremery).

Messing (gegossen), $s = 7{\cdot}8$, $g = 3{\cdot}055$, $a = 15650$, $p = 5000$, $\delta = \frac{1}{1330}$, $m = 8000000$ (Tredg.).

Messing (Draht), $a = 41000$, $a = 56437$ bis 90100 bei einer Dicke von ·0587 bis ·0152 Pariser Zoll (Karm.).

Messing (Claviersaiten), $a = 68624$ bis 102908, bei einer Dicke von ·0319 bis ·0065 Pariser Zoll (Karm.).

Platin (Draht), $s = 19{\cdot}267$, $g = 7{\cdot}63$, $a = 49180$ (Guyton M.), 45620 (Karm.), p?, δ?, m?.

Silber (gegossen), $s = 10{\cdot}474$, $g = 4{\cdot}12$, $a = 35700$, p?, δ?, m?.

Silber (Draht), $s = 10{\cdot}622$, $g = 4{\cdot}160$, $a = 42000$ (Eytelw.), 33560 (Guyton M.), 39528 — 51352 (Karm.).

Spiessglanz, $s = 6{\cdot}624 - 6{\cdot}64$, $g = 2{\cdot}594 - 2{\cdot}6$, $a = 930$.

Stahl, $s = 7{\cdot}795 - 7{\cdot}919$, $g = 3{\cdot}053 - 3{\cdot}102$, $a = 111000$ (Mus.), 114000 (Gussstahl, Rennie), 113000 (Tredg.), $p = 24000$, $\delta = \frac{1}{715}$, $m = 25260000$ (Tredg.), 27000000 (Bev.).

Stahl (Draht), $a = 106912$ bis 149386, bei einer Dicke von ·0351 bis ·0168 Pariser Zoll. Geglühter hat nur nahe die halbe Stärke (Karm.).

Wismuth, $s = 9{\cdot}832$, $g = 3{\cdot}850$, $a = 2730$, p?, δ?, m?.

Zinn (gegossen), $s = 7{\cdot}29$, $g = 2{\cdot}856$, $a = 3000$, 4100 (Rennie), 5000 (englisch), $p = 2500$, $\delta = \frac{1}{1600}$, $m = 4000000$.

Zinn (Draht), $s = 7{\cdot}299$, $g = 2{\cdot}859$, $a = 5600$, 4966 (Karm.).

Zinn (gegossen), $s = 7{\cdot}213$, $g = 2{\cdot}825$, $a = 2460$ (?), p?, δ?, $m = 11900000$ (Tredg.).

Zink (Draht), $a = 19638$ (Guyton M.), 17420 (Karm.).

C) Andere Substanzen.

Fischbein, $s = 1{\cdot}3$, $g = {\cdot}509$, a?, $p = 4350$, $\delta = \frac{1}{145}$, $m = 490000$ (Bev.), 714000 (Tredg.).

Schieferstein, $s = 2{\cdot}672$, $g = 1{\cdot}047$, $a = 7000 - 10000$, p?, δ?, $m = 13700000$ (Tredg.).

Marmor, $s = 2{\cdot}736$, $g = 1{\cdot}072$, $a = 1580$, p?, $\delta = \frac{1}{1395}$, $m = 21950000$ (Tredg.).

Stein (Portland-), $s = 2{\cdot}496$, $g = {\cdot}978$, $a = 750$, p?, δ?, $m = 1335000$ (Tredg.).

Mauerziegel, $s = 2{\cdot}000$, $g = {\cdot}783$, $a = 245$.

Seile (Hanf-), 12 bis 24 Zoll im Umfang haltende, $a = 4700$; dünne, sorgfältig gearbeitete Schnüre, $a = 7600$.

Glas (weisses), $s = 2{\cdot}730$, $g = 1{\cdot}07$, $a = 2600$, p?, δ?, $m = 5360000$ (Glasröhren, Bevan).

VI. Tabelle.

Resultate der Versuche von Eytelwein über die absolute Festigkeit einiger Holzarten im preussischen Maass und Gewichte *).

Holzarten	№ des Versuches	Gewicht zum Zerreissen (Pfunde)	Mittelwerth dieses Gewichtes (Pfunde)	Eigenthümliches Gewicht	Gewicht 1 □ Zoll zu zerreissen (Pfunde)
Kiefer *(Pin. sylvestris)* vom Kern	1	5540	5350	0.623	21400
» »	2	5160			
Vom Kern, harzig	3	4040	4040	0.624	16160
Zwischen Kern und Splint	4	5100	5170	0.612	
» » » »	5	5240			
» » » »	6	5510	5455	0.565	20973
» » » »	7	5400			
» » » »	8	4680	5030	0.604	
» » » »	9	5380			
Vom Kern, sehr harzig	10	2900	3130	0.657	12520
» » » »	11	3360			
Vom Splint	12	4400	4580	0.554	18320
» »	13	4760			
Sommereiche *(Quercus foemina)* vom Kern	14	7020	6650	0.795	26600
» »	15	6280			
Zwischen Splint und Kern	16	4740	4600	0.685	
» » » »	17	4460			21940
» » » »	18	6900	6370	0.618	
» » » »	19	5840			
Vom Splint	20	3420	3690	0.616	14760
» »	21	3960			
Steineiche *(Quercus robur)* Zwischen Kern und Splint	22	5640	5530	0.747	22120
» » » »	23	5420			
Rothtanne, Fichte *(Pinus picea)* Zwischen Kern und Splint	24	2700	2730	0.734	10920
» » » »	25	2760			
Weisstanne *(Pinus abies)* Zwischen Kern und Splint	26	3860	3850	0.421	15400
» » » »	27	3840			
Weissbuche, Hornbaum *(Carp. betul)*					
Zwischen Kern und Splint	28	5240	5100	0.765	20400
» » » »	29	4960			
Buche, Rothbuche *(Fag. sylvat.)*					
Zwischen Kern und Splint	30	5500	5590	0.762	22360
» » » »	31	5680			
Erle *(Betula alnus)* Zwischen Kern und Splint	32	6400	6185	0.656	24740
» » » »	33	5970			

*) Vergl. Eytelwein's Handbuch der Statik fester Körper. Zweiter Band, Seite 193, 194.

VII. Tabelle.

Modul der Elastizität und relativen Festigkeit einiger Holzgattungen aus Gerstner's Versuchen im Wiener Maasse und Gewichte, berechnet nach den Formeln Eytelwein's.

№ des Versuches	Holzarten	Werthe von $\frac{2P.(2l)^3}{bh^3y'} = 48e^2$ *)	Werthe von $\frac{2P.2l}{bh^3} = 4N$ *)	Mittelwerthe $48e^2$	Mittelwerthe $4N$
1	Eichenholz	5600788	6690	4899764	5451
2	»	4800425	4832	..	..
3	»	4298079	4832	..	..
4	Buchenholz	4726997	6416	5098996	5830
5	»	5470995	5244	..	..
6	Kiefernholz	7109238	6876	7737214	6903
7	»	7811743	6232	..	..
8	»	8290660	7600	..	..
9	Tannenholz	6480442	5072	8959868	7926
10	»	10244785	..	..	..
11	»	10154379	10780	..	..

*) Vergl. Eytelwein's Handbuch der Statik fester Körper etc. Seite 407 und vorige.

$48e^2$ ist ein Ausdruck der Formel Eytelwein's, und entspricht dem Werthe von $4k$ (Seite 21, 22 u. 23 dieser Schrift), so dass $4k = 48e^2$ und $k = \frac{48e^2}{4}$. Eben so ist $4N$ nach dem Eytelwein's Bezeichnungen das Vierfache der relativen Festigkeit, folglich (Seite 25) $\frac{4}{6}k' = 4N$ und $k' = 6N$.

VIII. Tabelle.

Resultate der von G. Rennie angestellten Versuche über die rückwirkende Festigkeit einiger Baumaterialien *).

№	Zerdrückte Körper	Eigengewicht	Länge od. Höhe	Breite od. Dicke	Gewicht zum Zerdrücken	Gewicht zum Zerdrücken eines □ Zolles
			Zoll	Zoll	Pfund	Pfund
1	Ulme	..	1	1	1284	1284
2	Kiefer, amerikanische	..	1	1	1606	1606
3	Weisstanne	..	1	1	1928	1928
4	Eiche, englische	..	1	1	3860	3860
5	» »	..	4	1	5147	5147
6	Marmor, weisser geäderter, italienischer	2.726	1½	1½	21783	9681
7	» schwarzer, Brabanter	2.697	1½	1½	20742	9219
8	» vielfarbiger von Devonshire	..	1½	1½	16712	7428
9	Bildhauermarmor	..	2	1	3216	3216
10	» weisser, nicht geädert	2.760	1½	1½	13632	6059
11	Kalkstein, schwarzer, fester von Limerick	2.598	1½	1½	19924	8866
12	» von Purbeck	2.599	1½	1½	20610	9160
13	» fester	2.584	1½	1½	17354	7713
14	Rogenstein von Gloucestershire	..	1½	1½	1449	644
15	Kreide	..	1½	1½	1127	501
16	Sandstein von Portland	..	2	1	805	805
17	» » »	2.428	1½	1½	10284	4571
18	» » »	2.423	2	2	14918	3730
19	» von Craigleith	..	1	1	8688	8688
20	» » » weisser Quaderstein	2.452	1½	1½	12346	5487
21	» » » nach dem Lager	2.452	1½	1½	15560	6916
22	» von Bramleyfall	2.506	1½	1½	13632	6059
23	» » Killaly, weisser Quaderstein, nicht geschichtet	2.423	1½	1½	10264	4562
24	Sandstein, sehr harter Quaderstein	2.528	1½	1½	21254	9446
25	» oder Breccie von Dundee	2.530	1½	1½	14918	6630
26	» rother zerreiblicher	2.316	1½	1½	7070	3142
27	» » »	2.428	1½	1½	9776	4345
28	Pflasterstein von Yorkshire	2.507	1½	1½	12856	5714

*) Vergl. Eytelwein's Handbuch der Statik. Zweiter Band, Seite 451, 452, 453.

№	Zerdrückte Körper	Eigengewicht	Länge od. Höhe	Breite od. Dicke	Gewicht zum Zerdrücken	Gewicht zum Zerdrücken eines □ Zolles
			Zoll	Zoll	Pfund	Pfund
29	Granit, harter, feinkörniger von Peterhead	..	1½	1½	18636	8283
30	» blauer von Aberdeen	2.625	1½	1½	24556	10914
31	Cornischer Granit	2.662	1½	1½	14302	6356
32	Ziegel, gebrannter blassroth	2.085	1½	1½	1265	562
33	» » rother	2.168	1½	1½	1817	808
34	» dreimal gebrannter gelber	..	1½	1½	2254	1002
35	» » » »	..	1½	1½	3243	1441
36	Feuerziegel von Stourbridge	..	1½	1½	3864	1717
37	Gusseisen, von einem grossen Klumpen	7.033	⅛	⅛	1440	92160
38	» » » » »	6.977	⅜	⅛	2116	135424
39	» » » » »	6.977	⅜	⅛	2363	151232
40	» » » » »	6.977	⅜	⅛	2005	128320
41	» » » » »	6.977	⅝	⅛	1407	90048
42	» » » » »	6.977	⅝	⅛	1743	111552
43	» » » » »	6.977	⅞	⅛	1594	102016
44	» » » » »	6.977	⅞	⅛	1439	92096
45	» » » » »	7.033	¼	¼	9774	156384
46	» horizontal gegossen	7.113	¼	¼	10114	161824
47	» vertical »	7.074	¼	¼	11111	177776
48	» horizontal »	..	½	¼	9414	150624
49	» vertical »	..	½	¼	9982	159712
50	» horizontal »	..	⅜	¼	9006	144096
51	» » »	..	⅝	¼	8845	141520
52	» » »	..	⅝	¼	8362	133792
53	» » »	..	⅞	¼	6430	102880
54	» » »	..	⅞	¼	6321	101136
55	» vertical »	..	⅜	¼	9328	149248
56	» » »	..	⅝	¼	8385	134160
57	» » »	..	⅝	¼	7896	126336
58	» » »	..	⅞	¼	7018	112288
59	» » »	..	⅞	¼	6430	102880
60	Kupfer, gegossenes	..	¼	¼	7318	117088
61	» gehämmertes	..	¼	¼	6440	103040
62	Messing, feines gelbes	..	¼	¼	10304	164864
63	Zinn, gegossenes	..	¼	¼	966	15456
64	Blei, gegossenes	..	¼	¼	483	7728

IX. Tabelle.

Specifisches Gewicht einiger Baumaterialien, und absolutes Gewicht eines kubischen Fusses derselben (nach Barlow).

Das specifische Gewicht des reinen Flusswassers = 1000, das absolute = 62.50 ℔.

Baumaterialien	Specifisches Gewicht		Absolutes Gewicht	
	von	bis	von	bis
Holzarten.				
Accacie (unecht)	748	820	46.75	51.25
» (dornig)	Mittleres	676	Mittleres	42.25
Esche (trocken)	690	845	43.12	52.81
Buche (Mittelgattung)	696	854	43.50	53.37
» (trocken)	690	..	43.12	..
Birke	720	..	45.00	..
Buxbaum (holländisch)	1030	1328	64.37	83.00
» (türkisch)	950	1024	59.37	64.00
Cedernbaum (indianisch)	1315	..	82.18	..
» (verschiedener Gegenden)	453	753	28.31	47.06
» (vom Libanon)	486	603	30.37	37.68
Kirschbaum	672	741	42.00	46.31
Kastanienbaum	535	685	33.45	42.81
» (wild)	483	657	30.18	41.06
Cypressenbaum	644	655	40.25	40.93
Ulme (grün)	693	940	44.41	58.75
» (trocken)	553	588	34.56	36.75
Föhre (von Norwegen)	512	..	32.00	..
» (amerikanisch)	465	..	29.06	..
Lärche (roth)	496	640	31.00	40.00
» (weiss)	364	..	22.75	..
Mahagony (spanisch)	816	852	51.00	53.30
» (Honduras)	560	..	35.00	..
Eiche (grün)	1063	1216	66.43	76.03
» (irländisch)	1046	..	65.37	..
» (adriatisch)	993	..	62.06	..
» (amerikanisch)	752	..	47.00	..
» (englisch, trocken)	625	..	39.06	..
» (aus Danzig)	755	..	47.24	..
Birnbaum (trocken)	646	708	40.37	44.25
Pechtanne (amerikanische, trocken)	741	936	46.31	58.50
Tanne (aus Schottland, trocken)	529	696	26.81	43.50
» (aus Riga)	466	553	29.12	34.56
Platane	538	648	33.62	40.50
Pappel	374	529	24.37	33.06
Feigenbaum (wild)	590	645	36.87	40.31
Indianische Eiche (trocken)	657	832	41.06	52.00
Nussbaum (grün)	920	..	57.50	..
» (trocken)	616	735	38.50	45.93
Weidenbaum (grün)	619	.	38.68	..
» (trocken)	404	568	25.25	35.50

Baumaterialien	Specifisches Gewicht		Absolutes Gewicht	
	von	bis	von	bis
Bausteine, Cementen u. A.				
Basalt	2478	3000	154.87	187.50
Ziegeln (gewöhnliche)	1557	2000	97.31	125.00
» (holländisch hellklingend)	1482	..	92.62	..
Feuerziegeln	2408	..	150.50	..
Ziegelmauerwerk	..	1520	..	95.00
Kreide	2315	2657	144.68	166.06
» (gedörrt)	1869	2657	116.81	166.06
Feuerstein	2580	2630	161.25	164.37
Granit	2624	3000	164.00	187.48
Marmor	2580	2840	161.25	177.50
Mörtel (trocken)	1384	..	86.50	..
» (verschiedene trocken)	1414	1893	88.37	118.31
Mörtelguss	1286	..	80.37	..
Pozzuolano-Erde	2570	2850	160.62	178.12
Serpentin	2561	2683	160.06	167.68
Thonschiefer (Schistus)	2512	2888	157.00	180.50
Stein (Bath)	1975	2494	123.43	155.87
Kalkstein	2467	..	154.18	..
Sandstein (Bramley-fall)	2506	..	156.62	..
Steine (Mittleres unter verschiedenen Gattungen)	2000	2686	125.00	167.87
Steinmauerwerk (in Mörtel gelegt)	d°	d°	d°	d°
Dachziegeln (gewöhnliche)	1815	1858	113.43	116.15
			119.93	
Erdgattungen u. A.				
Thon (gewöhnlicher)	1919	..		..
» (mit Kies)	2560	..	160.00	..
Entschwefelte Steinkohlen	744	..	46.50	..
Steinkohlen	1269	1526	79.31	95.37
Erde (gewöhnliche)	1520	2016	95.00	126.00
Gries	1749	..	109.80	..
Ungelöschter Kalk (lebendiger Kalk)	843	..	52.68	..
Mergel	1600	2870	100.	179.37
Quarzsand	2750	..	171.87	..
Gewöhnlicher Sand	1454	1886	90.87	117.87
Kleine runde Kieselsteine (Schotter)	1424	..	89.00	..
Flusswasser (rein)	1000	..	62.50	..
Meerwasser	1027	..	64.18	..
Metalle.				
Messing (Guss)	8100	..	506.25	..
Messingdraht, Messingblech	8441	8544	527.56	634.00
Kupfer (Guss)	8607	..	537.93	..
» (Blech)	8785	..	549.06	..
Schmiedeisen	7600	7800	475.00	487.50
Gusseisen	7200	7600	450.00	475.00
Blei	11352	11407	709.50	712.93
Zinn	7248	..	493.00	..
Platina	21531	..	1345.68	..
Stahl	7780	7840	486.25	499.00
Weissblech	7291	7299	455.68	456.18

Inhalt.

ALLGEMEINE EINLEITUNG.

Seite

Brücken in Europa. Einiges über die fisischen Landesverhältnisse Nordamerika's 1
Übersicht der grösseren Flüsse Nordamerika's 6

NORDAMERIKANISCHER BRÜCKENBAU.

Bogenwerks-, Town's, Long's und Howe's Brücken 7
Bogenwerksbrücken . . . . . —
Town's Brücken 8
Long's Brücken 10
Howe's Brücke über den Connecticut-Fluss im Staate Massachusetts 11

BERECHNUNG DES TRAGUNGSVERMÖGENS

der Howe'schen Brücken.

Beschreibung des Statischen Systems der Howe'schen Brücken 17
Theoriesätze über das Biegungsmoment elastischer Körper 20
Theoriesätze über das Brechungsmoment 23
Tabellen über den Werth der absoluten und relativen Festigkeit einiger Holzarten 28
Näheres über die Theorie der relativen Festigkeit der Brückenträger, so wie über den verticalen Druck auf den Brückenpfeilern 38
Anwendung der Theorie auf den praktischen Gebrauch — nähere Entwicklung der Formeln — . 47
Berechnung des wirklichen Tragungsvermögens der Connecticuts-Brücke 51

ÜBER DIE ANWENDUNG

der Howe'schen Construction.

1. Vortheile der Howe'schen Construction 55
2. Grösse der lichten Weite für die Brückenöffnungen 58
3. Näheres über die Eintheilung der Brückenöffnung 60
4. Über die Brückenpfeiler 62
5. Über einzelne Bestandtheile und die Verspannung der Träger 64
6. Schlussbemerkungen über die Anwendbarkeit der Howe'schen Brücken 66

Anhang.

Tabellen der absoluten, relativen und rückwirkenden Festigkeit, dann des specifischen und absoluten Gewichtes einiger Baumaterialien, mit einem Auszuge aus einer in dem XIX. Bande der Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes über die Festigkeit der Materialien enthaltenen Abhandlung, vom k. k. Regierungsrathe und Professor, Adam Burg 69

Berichtigungen.

Seite	7	*Zeile*	18	*statt:*	absoluten	*lies:*	rückwirkenden
»	11	»	2	»	500 Fuss	»	110 Fuss
»	»	»	15	»	Maritan Canal	»	Raritan Fluss
»	13	»	34	»	Überspaltung	»	Überplattung
»	23	»	20	»	Gleichung (4)	»	Gleichung (5)
»	24	»	29	»	$k\,\frac{bh^3}{6}$ (7)	»	$k'.\,\frac{bh^3}{6}$ (7)
»	25	»	19 bis 22	»	M und k	»	M' und k'
»	26	»	24 u. 26	»	$M = \frac{k}{12} lh^3$, $M' = \frac{klh^3}{12 . \frac{1}{2} h''^3}$	»	$M = \frac{k}{12} bh^3$, $M' = \frac{k'bh^3}{12 . \frac{1}{2} h}$
»	27	»	11	»	$(h^3 - {}''k^3)$	»	$(h^3 - {}''h^3)$
»	45	»	18	»	für M	»	für M'
»	»	»	28	»	2, der	»	$2l$, der
»	46	»	15	»	(30) und (31)	»	(30) und (32)
»	59	»	18	»	der lichten Weite und der Höhe	»	der lichten Weite zu der Höhe
»	64	»	21	»	selbst beruhet. Schädliche u. s. w.	»	selbst beruhet, nicht erfüllen. Schädliche u. s. w.
»	»	»	25	»	sorgfältigst	»	sorgfältig

Vergleich

einiger Gewichte, Maasse und Münzen untereinander.

Eine grosse englische Tonne = 2240 engl. ℔ = 18.14 Wiener Zentner = 1.016 franz. Tonneaux = 1015,949 Kilogramm = 2170,56 preuss. ℔ = 20 engl. Quintals. Ein franz. Kilogr. = 2.205 engl. und amerikanische ℔ = 1.786 Wiener ℔ = 2.043 alt, 2.0 neu franz. ℔ = 2.138 würtemb. ℔.

Eine englische Meile = Eine amerikan. Meile = 0.217 geogr. Meile = 1.609 Kilom. = 1760 engl. Yards = 5280 engl. Fuss = 848,50 Wiener Klafter = 1609,31 Meter. Ein Meter = $\frac{1}{10000000}$ des nördl. Erdquadranten auf dem Pariser Meridiankreis gemessen = $\frac{1}{100000}$ des Decimal-Grades desselben = 3.2809 engl. Fuss = 3,16563 Wiener Fuss = 3.0784 Pariser Fuss = 3.1857 preuss. Fuss = 3.4905 würtemb. Fuss = 3.4263 baier. Fuss. — Ein engl. Fuss = 0.9642 Wiener = 0.9711 preuss. Fuss = 0.3048 Meter.

Ein Dollar = 100 Cents = 2 Gulden 3½ kr. Conv. Münze = 1 Thlr. 13 gr. preuss. Courant = 5 Francs 33 Cents. Ein Liv. Sterl. = 4 Dollars 85 Cents.

NORDAMERICANISCHER BRÜCKENBAU

nach der Town's und Long's Constructionsart.

Fig. 1.
Querschnitt.

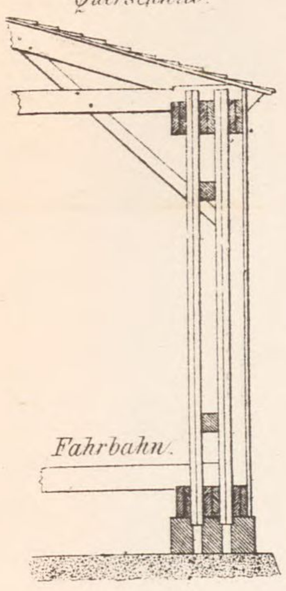

Fig. 2.
Aeussere Seitenansicht des Gitterwerks.

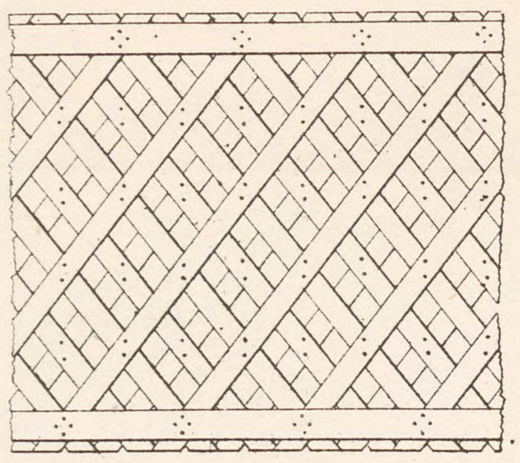

Fig. 3.
Horizontale Projection des Gitterwerks.
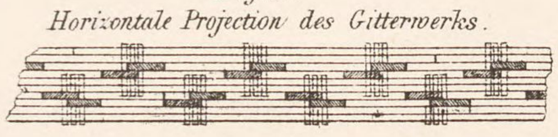
Fig. 4.
Grundriss beider Träger.

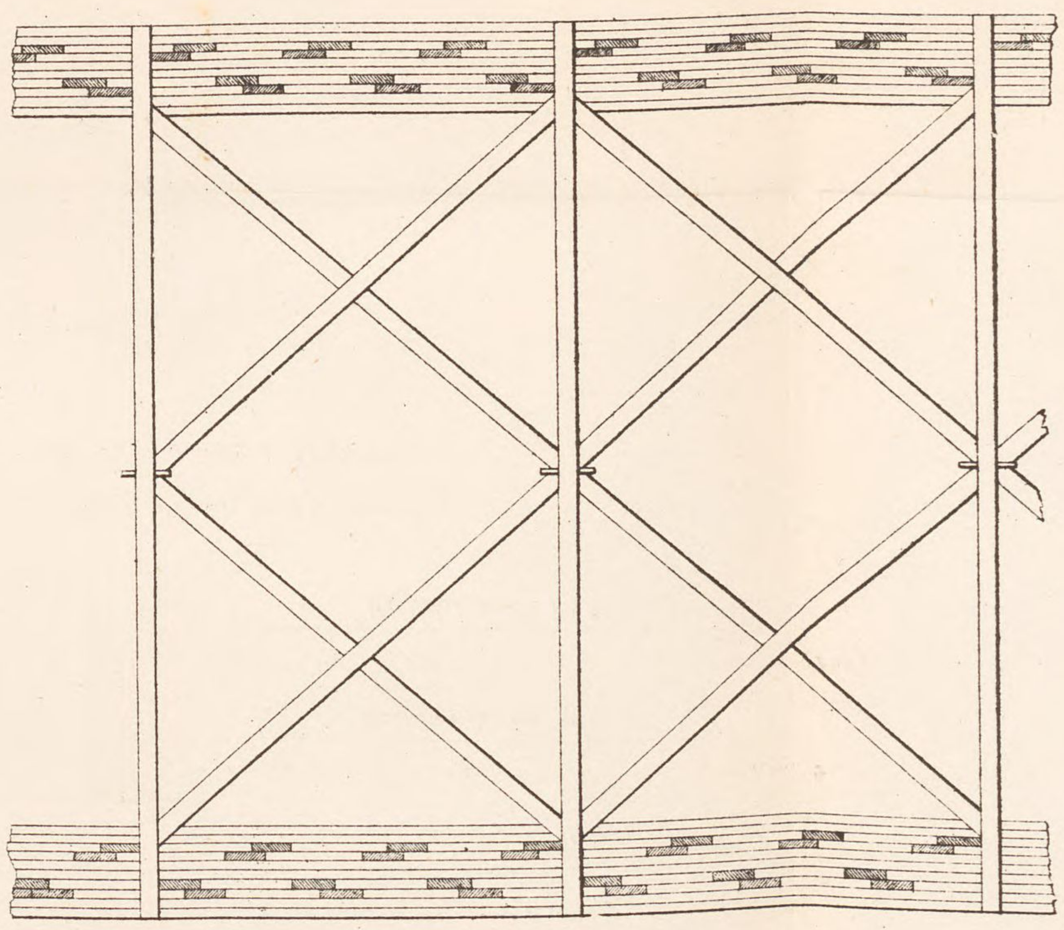

Fig. 5.
Seitenansicht der Brücken mit Häng- und Sprengwerk.

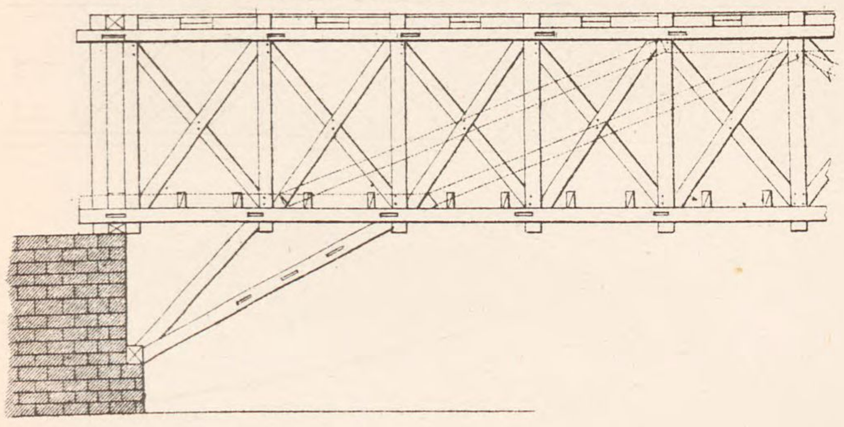

Fig. 6.
Seitenansicht für Hängbrücken.

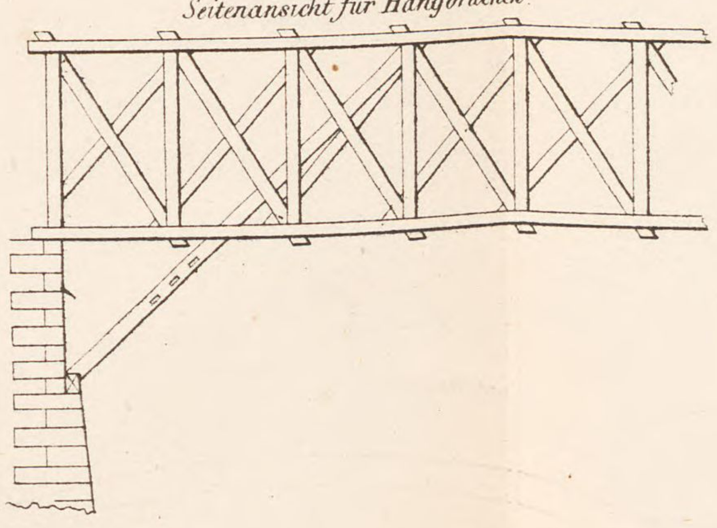

Fig. 7.
Träger für Hängbrücken im grössern Maaßstab.

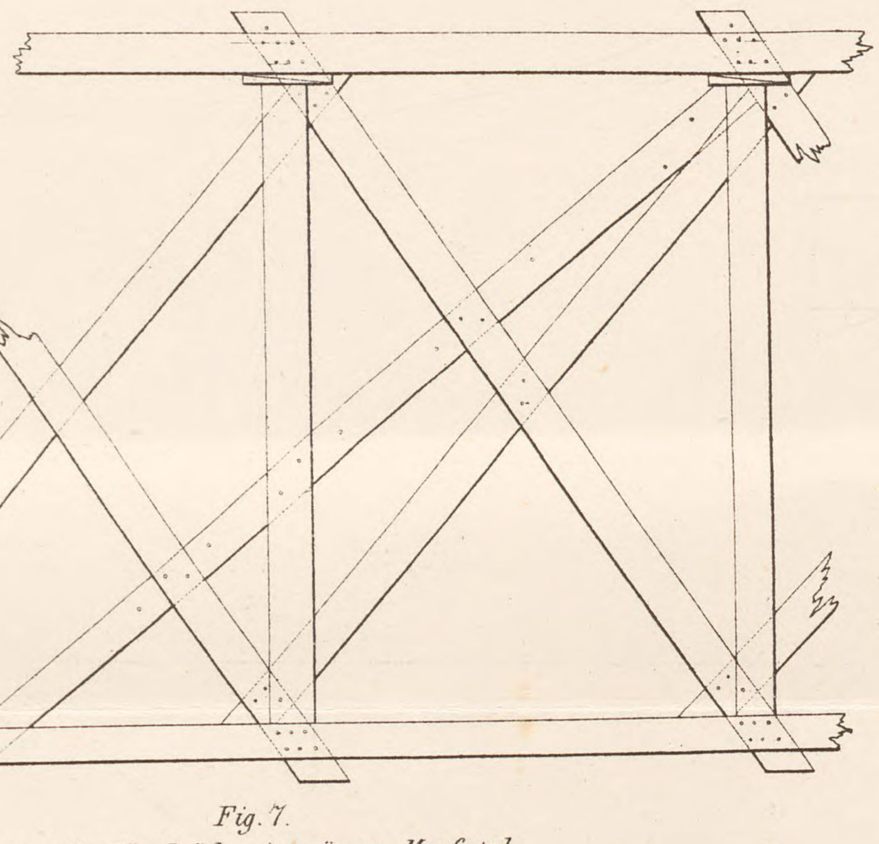

Fig. 8.
Grundriss des Trägers.

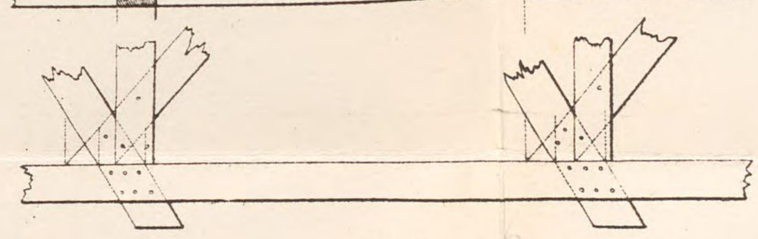

Fig. 9.
Seitenansicht.

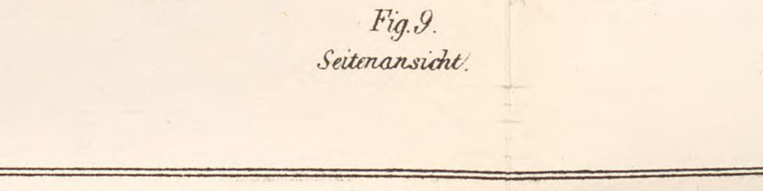

Fig. 11.

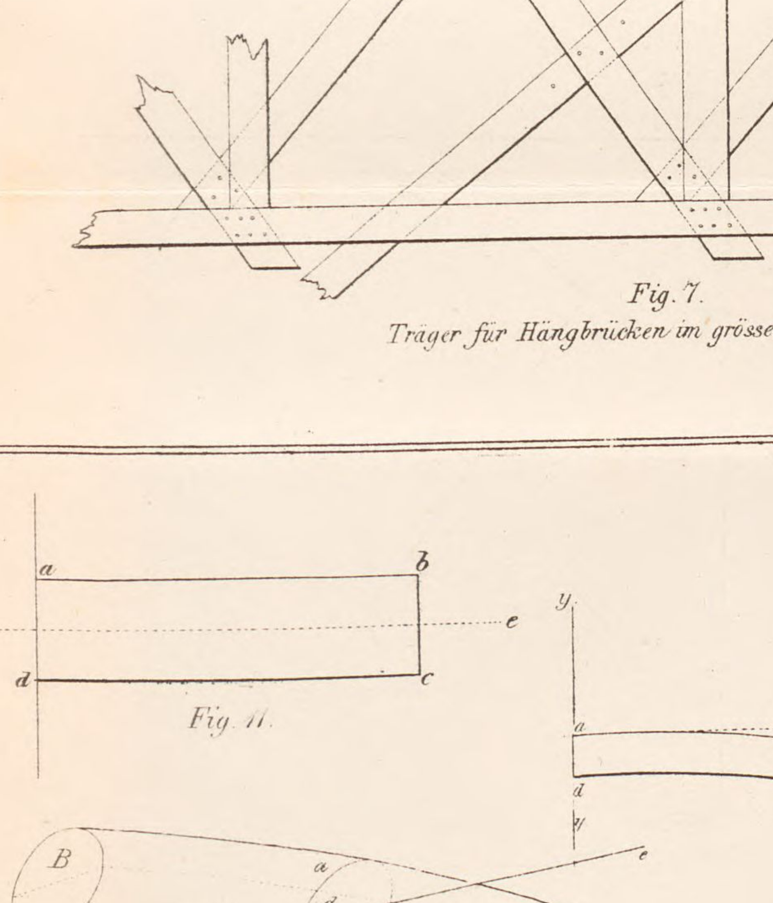

Fig. 10.

Fig. 12.

Fig. 13.

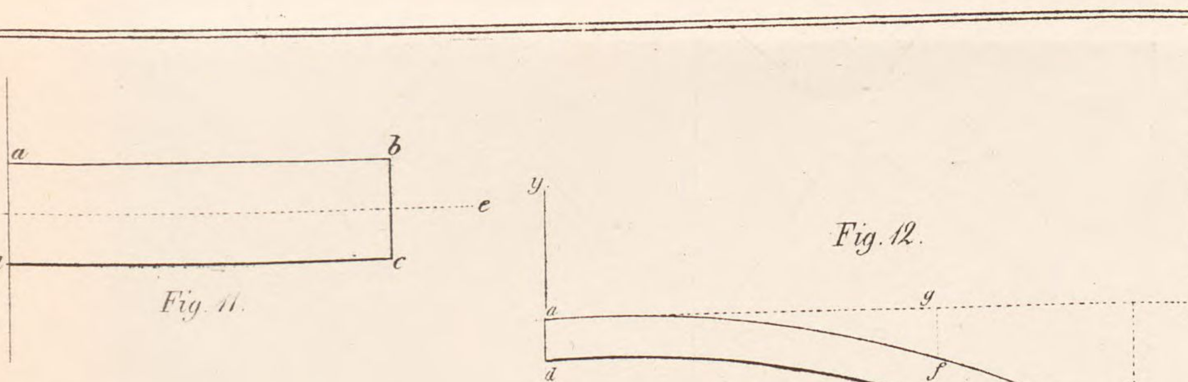

Fig. 14.

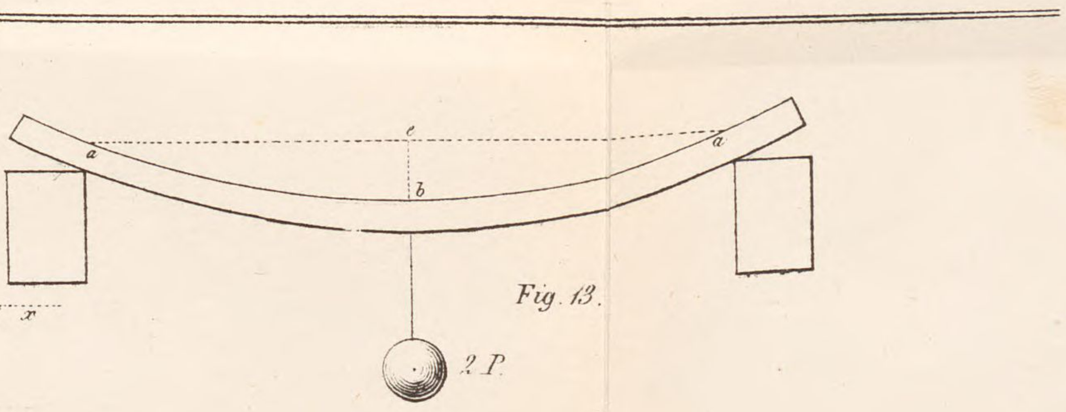

Fig. 1. 2. 3. und 4. Brücken nach Town's Systeme.

Fig. 5. 6. 7. 8. und 9. Brücken nach Long's Systeme.

HOELZERNE BRÜCKE ÜBER DEN CONECTICUT-FLUSS BEI SPRINGFIELD IM STAATE MASSACHUSETTS IN NORDAMERICA

nach dem Howeschen Systeme und Patente.

Taf. II

Fig. 2. Laengen-Ansicht der Brücke.

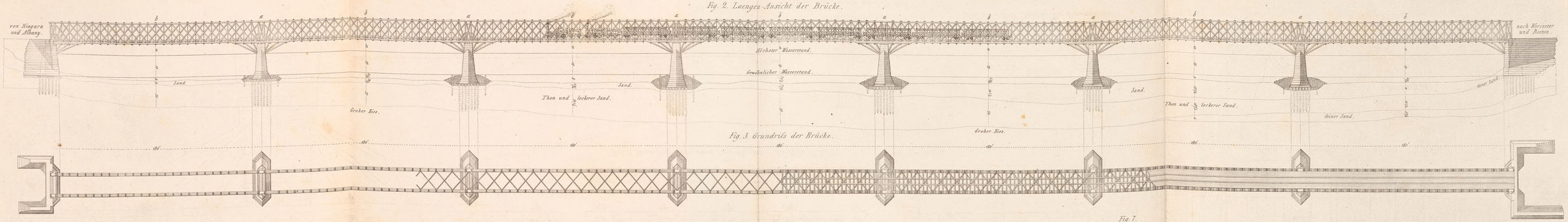

Fig. 3. Grundriß der Brücke.

Fig. 4. Aeussere Ansicht des Gitter-Werkes in der Gegend der Pfeiler (a. Fig. 2.)

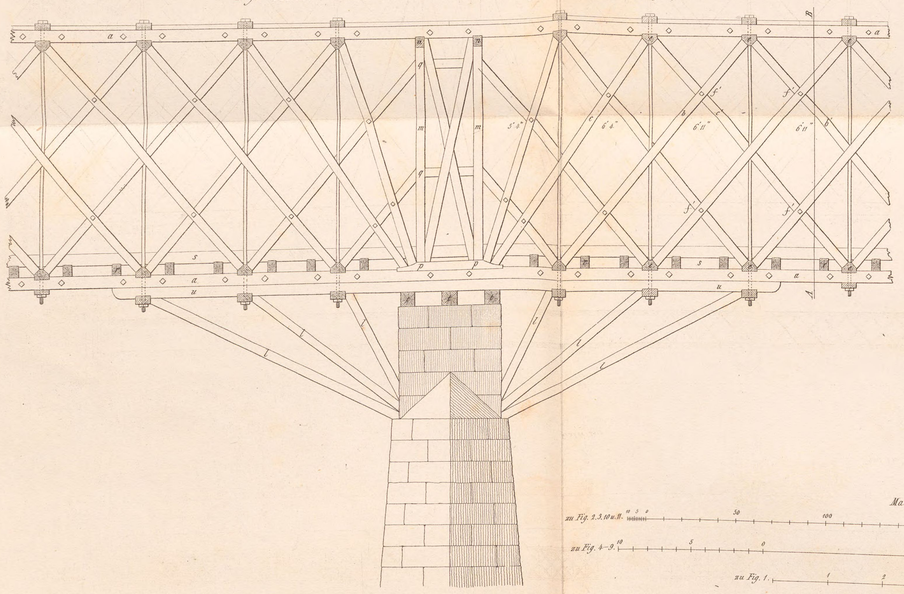

Fig. 5. Aeussere Ansicht in der Mitte (b. Fig. 2.)

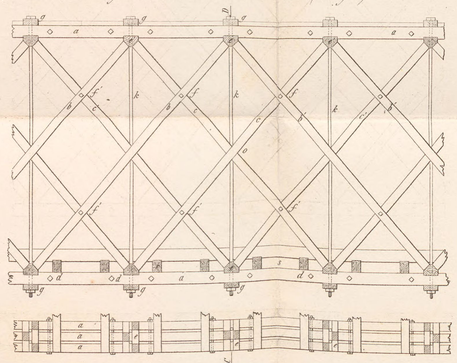

Fig. 6. Querschnitt nach A B. in Fig. 4. und 8.

Fig. 7. Durchschnitt nach C D. in Fig. 5. u. 9.

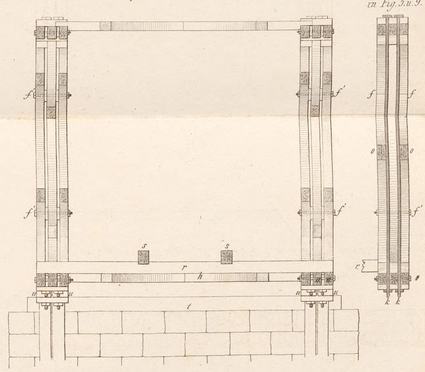

Fig. 8. Grundriß der Brückenbahn mit den untern Zangenhoelzern.

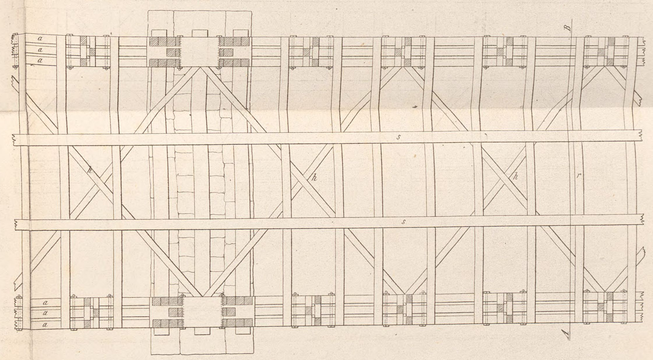

Fig. 9. Grundriß der untern Zangenhoelzer in der Mitte (b. Fig. 2.)

Maasstaebe.

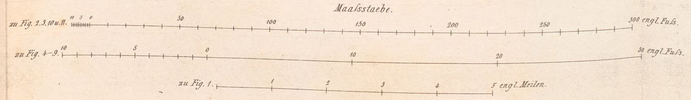

Fig. 10. Seitenansicht eines Pfeilers.

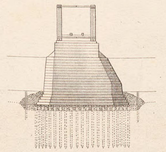

Fig. 11. Vordere Ansicht der Eingangsthore.

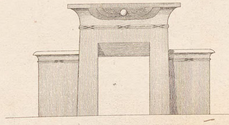

Fig. 1. Situationsplan von Springfield.

Brückenbau
Howe'sche Brücken

WIEN.

GEDRUCKT BEI A. STRAUSS'S SEL. WITWE & SOMMER.

1845.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ghega, Carl von

Über nordamerikanischen Brückenbau und Berechnung des Tragungsvermögens der Howe'schen Brücken mit Tabellen über die absolute, relative und rückwirkende Festigkeit einiger Baumaterialien

Wien 1845

4 A.hydr. 46 q
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10048743-2